

ISSN 1907-5367  
eISSN 2580-1023

# buletin

# SUMBER DAYA GEOLOGI

Volume 19 No. 3, November 2024



Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral  
**Badan Geologi**  
Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi

Buletin Sumber Daya Geologi	Vol. 19	No. 3	Halaman 147 - 222	Bandung November 2024	Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020
--------------------------------	---------	-------	----------------------	--------------------------	---

**KETERANGAN SAMPUL DEPAN**

Singkapan alterasi propilitik pada dinding *Pit* memperlihatkan mineral epidot yang berwarna hijau (Nadya Finlandini, dkk., 2024)

# **bulletin**

## **SUMBER DAYA GEOLOGI**

**ISSN 1907-5367**  
**eISSN 2580-1023**

**Volume 19 Nomor 3, November 2024**

**Terakreditasi Kemenristekdikti sebagai Jurnal Ilmiah Nomor : 200/M/KPT/2020**

Buletin Sumber Daya Geologi merupakan jurnal ilmiah terakreditasi Kemenristekdikti bidang mineral, energi fosil, dan panas bumi yang berkaitan dengan kajian sumber daya. Majalah ini terbit tiga nomor dalam satu tahun pada bulan Mei, Agustus dan November.

### **DEWAN REDAKSI**

**Editor In Chief**

Ir. Denni Widhiyatna, M.T.

**Managing Editor**

Eko Suryanto, S.Kom.  
Resmi Novianti, S.Kom.  
Ernawati, S.I.Pust.  
Candra, S.T.  
Riad Bakti Padilah, S.AP.  
Bonny Wanda Nugraha, S.Kom  
Atep Kurnia, S.S.

**Editorial Board**

Fitri Purnamasari Liveta, S.A.P.  
Qomariah, S.Kom., M.T.  
Ir. Herry Rodiana Eddy, M.Si.  
Ir. Prima Muhamar Hilman, M.Sc.  
Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi  
Ir. Sri Widodo  
Ir. Teuku Ishlah  
Ir. Bambang Pardiarto  
Dr. Siti Sumilah Rita Susilawati, S.T., M.Sc.  
Ir. Rina Wahyuningsih  
Fatimah, S.T., M.Sc.  
Asep Sugianto, S.T., M.T.  
Irwan Muksin, S.T.  
Husin Setia Nugraha S.T., M.Sc.

**Peer-Reviewer**

Prof. Dr.Ir. Binarko Santoso, M.Sc  
Prof. Ir. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D  
Prof. Euis Tintin Yuningsih, S.T., M.T., Ph.D  
Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DEA  
Dr. Ir. Dicky Muslim, M.Sc.  
Dr. Eng. Agus Didit Haryanto, Ir., M.T.  
Ir. Sabtanto Joko Suprapto, M.T.  
Edi Suhanto, S.Si, M.T.  
Dr. Asep Kurnia Permana, S.T., M.Sc  
Dr. rer. nat. Ernowo, S.T., M.T.

**Alamat sekretariat dan pengiriman naskah**

Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi  
Bagian Umum  
Jl. Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254  
Telepon : (022) 520 2698, 522 6270  
Fax : (022) 522 6270, 522 6263  
Email : buletinpsdg@gmail.com  
OJS : <https://bulletinsdg.geologi.esdm.go.id>



## PENGANTAR REDAKSI

Buletin Sumber Daya Geologi Volume 19 Nomor 3 Tahun 2024 ini berisi lima makalah ilmiah yang mengulas tentang komoditas mineral, energi fosil, dan panas bumi. Para penulis yang berkontribusi berasal dari Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Pusat Survei Geologi, Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Universitas Sriwijaya, Institut Teknologi Sumatera, Universitas Padjadjaran, PT Generasi Muda Bersatu, PT Sumbawa Barat Mineral.

Artikel pertama berupa kajian tentang analisis alterasi dan mineralisasi menggunakan XRD, petrografi dan mineragrafi di Kabupaten Cianjur, sehingga diketahui jenis-jenis alterasi yang berkembang dan kehadiran beberapa mineral yang menjadi penciri zona mineralisasinya. Artikel kedua berupa penelitian tentang fluida panas bumi dan estimasi temperatur reservoir pada daerah prospek panas bumi di Sumatera Selatan, dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa fluida manifestasi tersebut berasal dari air meteorik dan tergolong ke dalam temperatur tinggi.

Artikel ketiga berupa kajian tentang karakterisasi batuan induk hidrokarbon dan reservoir nonkonvensional di Cekungan Jawa Timur Bagian Utara. Integrasi analisis data sumur dan inversi seismik digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan induk sehingga dapat memberikan informasi litologi pada formasi pembawa batuan induk hidrokarbon.

Artikel keempat berupa kajian alterasi dan mineralisasi dengan menggunakan metode pemetaan geologi, analisis XRF dan analisis XRD pada wilayah Izin Usaha Pertambangan di Provinsi Nusa Tenggara Barat. Kajian ini menunjukkan adanya alterasi propilitik, argilik, advanced argilik dan sililisifikasi dengan tipe mineralisasi berupa *epithermal high sulfidation* pada kedalaman intermediet.

Sedangkan artikel terakhir berupa prakiraan potensi dan utilisasi energi panas bumi dengan menerapkan petunjuk teknis tata cara perhitungannya untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles, Cianjur, Jawa Barat. Kajian ini menghasilkan rekomendasi untuk pemanfaatan langsung untuk menambah instalasi utilisasi secara paralel dalam bentuk dibuat kolam dengan peruntukan untuk berenang, berendam dan jacuzzi dan secara cascading dengan akuakultur seperti untuk budidaya udang atau lele.

Salam sehat dan tetap semangat,

Dewan Redaksi



### DAFTAR ISI

#### MAKALAH ILMIAH

- 147 - 159 ANALISIS ALTERASI DAN MINERALISASI MENGGUNAKAN METODE XRD, PETROGRAFI DAN MINERAGRAFI DAERAH PROSPEK CIHAUR, SIMPENAN, KABUPATEN SUKABUMI  
*ALTERATION AND MINERALIZATION ANALYSIS USING XRD, PETROGRAPHY AND MINERAGRAPHY METHODS, CIHAUR PROSPECT AREA, SIMPENAN, SUKABUMI REGENCY*  
Nadya Finlandini, Sabtanto Joko Suprapto, Asep M. I. Shiddiq, Lia Novalia, dan Muhammad Syafrudin Anshar
- 161 - 171 ASAL USUL FLUIDA MANIFESTASI PANAS BUMI DAN ESTIMASI TEMPERATUR RESERVOIR DENGAN PENDEKATAN ANALISIS ISOTOP PADA DAERAH DANAU RANAU, OGAN KOMERING ULU (OKU) SELATAN, SUMATERA SELATAN  
*ORIGIN OF GEOTHERMAL MANIFESTATION FLUID AND DETERMINATION OF RESERVOIR TEMPERATURE USING ISOTOPE ANALYSIS APPROACH IN THE LAKE RANAU AREA, SOUTH OGAN KOMERING ULU (OKU), SOUTH SUMATERA*  
Mochamad Malik Ibrahim, Harnani Harnani, Stevanus Nalendra Jati, dan Rayhan Khairunnan Abiyyu
- 173 - 185 KARAKTERISASI BATUAN INDUK HIDROKARBON DAN RESERVOAR NONKONVENTIONAL DI CEKUNGAN JAWA TIMUR BAGIAN UTARA  
*CHARACTERIZATION OF HYDROCARBON SOURCE ROCKS AND UNCONVENTIONAL RESERVOIR IN THE NORTHERN EAST JAVA BASIN*  
Feby Airlangga, Handoyo Handoyo, Selvi Misnia Irawati, dan Andy Setyo Wibowo
- 187 - 207 ALTERASI DAN MINERALISASI PADA DAERAH SUB-PROJECT S, BLOK A, PT SUMBAWA BARAT MINERAL, KABUPATEN SUMBAWA BARAT, PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT  
*ALTERATION AND MINERALIZATION IN SUB-PROJECT S AREA, BLOCK A, PT SUMBAWA BARAT MINERAL, WEST SUMBAWA DISTRICT, WEST NUSA TENGGARA PROVINCE*  
Ariel Dwiyanto Nugroho, Asep Mohamad I Shiddiq, Tatik Handayani, dan Sahidin
- 209 - 222 PRAKIRAAN POTENSI DAN UTILISASI ENERGI PANAS BUMI UNTUK PEMANFAATAN LANGSUNG DI PROSPEK LELES, CIANJUR, JAWA BARAT  
*THE POTENTIAL AND UTILIZATION OF GEOTHERMAL ENERGY ASSESSMENT FOR DIRECT UTILIZATION IN THE LELES PROSPECT, CIANJUR, WEST JAVA*  
Husin Setia Nugraha, Rina Wahyuningsih, Dede lim, dan Dadan Wildan

#### ABSTRAK MAKALAH

Oleh : Redaksi

#### GALERI FOTO

Oleh : Eko Suryanto, S.Kom

#### PEDOMAN PENULISAN KARYA ILMIAH

Oleh : Redaksi



**ANALISIS ALTERASI DAN MINERALISASI MENGGUNAKAN METODE XRD,  
PETROGRAFI DAN MINERAGRAFI DAERAH PROSPEK CIHAUR, SIMPENAN,  
KABUPATEN SUKABUMI****ALTERATION AND MINERALIZATION ANALYSIS USING XRD, PETROGRAPHY  
AND MINERAGRAFI METHODS, CIHAUR PROSPECT AREA, SIMPENAN,  
SUKABUMI REGENCY****Nadya Finlandini<sup>1</sup>, S. J. Suprapto<sup>1</sup>, A. M. I. Shiddiq<sup>1</sup>, Lia Novalia<sup>2</sup>, M. S. Anshar<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia<sup>2</sup>Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia<sup>3</sup>PT Generasi Muda Bersatu, IndonesiaEmail korespondensi: [nadyafinlandini@gmail.com](mailto:nadyafinlandini@gmail.com)

Diterima: 6 Mei 2024; Direvisi: 5 Juni 2024; Disetujui: 10 September 2024

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.495>**ABSTRAK**

Daerah penelitian terletak di Cihaur, Sukabumi, Jawa Barat, ditempati oleh Formasi Jampang, berada pada Busur Sunda-Banda. Aktivitas magmatik dan tataan tektonik yang kompleks di Busur tersebut potensial menyebabkan terjadinya mineralisasi, menghasilkan beberapa tipe cebakan bijih seperti porfiri, epitermal, dan skarn. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi alterasi, mineralisasi, dan tipe cebakan bijih pada daerah penelitian. Metodologi penelitian meliputi pengeboran eksplorasi, pemetaan alterasi, dan analisis laboratorium menggunakan metode XRD, petrografi, dan mineragrafi. Alterasi yang berkembang di daerah penelitian terdiri dari alterasi argilik (illit, kaolin, dan smektit), alterasi propilitik (klorit, epidot, dan kalsit), marbellized (95% kalsit), dan skarnisasi (klinopiroksen, wollastonit, klorit-skarn, dan epidot-skarn). Pada skarn terdapat indikasi tahap *prograde* yang ditandai oleh mineral piroksen dan wollastonit, serta tahap *retrograde* ditandai oleh mineral epidot, kalsit, dan klorit. Mineralisasi daerah penelitian terdiri dari galena, sfalerit, pirhotit, pirit, dan kalkopirit. Kehadiran mineral piroksen dan wollastonit, serta galena dan sfalerit menunjukkan bahwa skarn terbentuk pada zona menengah hingga distal.

**Kata kunci:** Skarn, Alterasi, Mineralisasi, XRD, Petrografi, Mineragrafi**ABSTRACT**

The research is located in Cihaur, Sukabumi, West Java, occupied by the Jampang Formation, located in the Sunda-Banda Arc. The magmatic activity and complex tectonic setting in the arc have the potential to cause mineralization, resulting in several types of ore deposits such as porphyry, epithermal and skarn. The objectives of this research are to identify alteration, mineralization, and ore deposit types in the research area. The research methodology includes exploration drilling, alteration mapping, and laboratory analysis using XRD, petrography, and mineragraphy methods. Alteration of the research area consists of argillic alteration (illite, kaolin, and smectite), propylitic alteration (chlorite, epidote, and calcite), marbellized (95%

*calcite), and skarnization (clinopyroxene, wollastonite, chlorite-skarn, and epidote-skarn). In the skarn there are indications of a prograde stage characterized by pyroxene and wollastonite minerals, and a retrograde stage characterized by epidote, calcite, and chlorite minerals. Mineralization of the research area consists of galena, sphalerite, pyrrhotite, pyrite, and chalcopyrite. The presence of pyroxene and wollastonite minerals, as well as galena and sphalerite indicate that the skarn formed in the intermediate to distal zone.*

**Keywords:** Skarn, Alteration, Mineralization, XRD, Petrography, Mineragraphy

## PENDAHULUAN

Akibat aktivitas magmatik dan tataan tektonik yang kompleks di Indonesia menyebabkan terjadinya mineralisasi, menghasilkan beberapa cebakan bijih seperti tipe porfiri, tipe epitermal, dan tipe skarn. Mineralisasi logam banyak ditemukan di Indonesia, termasuk di Jawa Barat yang terletak pada busur Sunda-Banda, merupakan busur vulkanik yang terbentuk pada zaman Kenozoikum. Busur vulkanik di Jawa Barat menghasilkan dua jalur magmatisme, yaitu jalur magmatisme tua terjadi pada awal Eosen-Miosen dan jalur magmatisme muda pada Miosen-Pliosen. Magmatisme tersebut di Jawa Barat menghasilkan mineralisasi pada Busur Sunda-Banda yang berumur Miosen (mineralisasi Cijulang, Arinem, Cibaliung, dan Ciemas) dan mineralisasi Busur Sunda-Banda berumur Pliosen (mineralisasi Pongkor, Cirotan, dan Cikidang). Sebagian besar mineralisasi merupakan cebakan tipe epitermal dan cebakan tipe porfiri yang mengandung Cu, Au, Pb dan Zn (Laksana, dkk., 2023).

Daerah penelitian terletak di Cihaur, Sukabumi, Jawa Barat ditempati oleh Formasi Jampang dan terdapat mineralisasi Pb-Zn yang merupakan temuan cebakan baru ekonomis di Pulau Jawa, yakni berupa cebakan tipe skarn Pb-Zn. Daerah penelitian ini terletak di dalam wilayah IUP PT Generasi Muda Bersatu (GMB) di Cihaur, Simpenan, Sukabumi, Jawa Barat.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui karakteristik alterasi dan mineralisasi serta tipe cebakan bijih pada daerah penelitian.

## Geologi Regional

Daerah penelitian ditempati oleh Formasi Jampang diperkirakan berumur Miosen Bawah yang tersusun oleh breksi gunungapi, tufa dari anggota Cikarang, dan lava dari anggota Ciseureuh (Gambar 1). Penyusun utama Formasi Jampang adalah breksi vulkanik, berbutir halus sampai sangat kasar, fragmen-fragmen tersebut umumnya berkisar antara beberapa cm sampai dengan 100 cm, dan ada yang sebesar 350 cm. Satuan ini tidak selaras dengan Formasi Rajamandala dan Formasi Ciletuh.

Formasi Jampang terdiri dari dua bagian, bawah dan atas. Formasi Jampang bagian bawah tersusun oleh napal globigerina, batupasir, tuf breksi andesitik karbonatan, dan dasit, serta terdapat perselingan batugamping foraminifera. Formasi Jampang bagian atas mengandung tuf breksi vulkanik. Batugamping ditemukan di bagian atas dengan dijumpai juga lensa dan nodul batugamping, dyke, sill, stock andesitik – dasitik, dan urat kuarsa.

## Cebakan Skarn

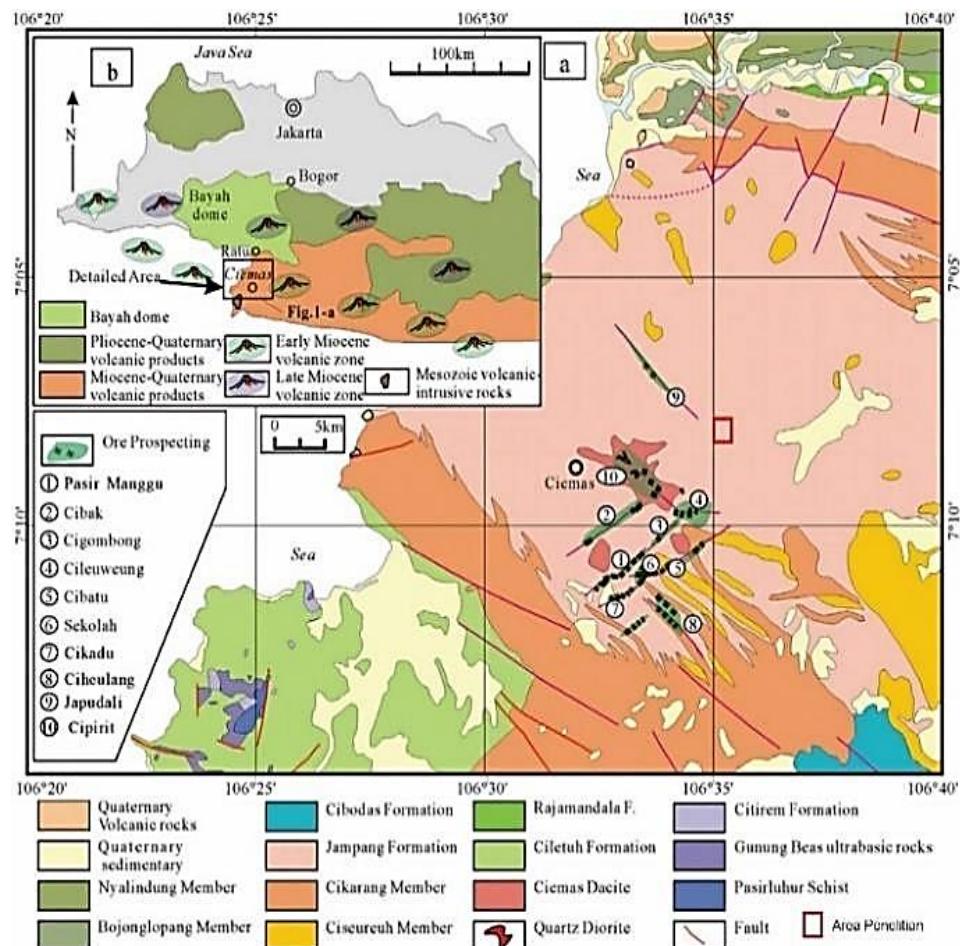
Cebakan skarn adalah jenis cebakan bijih yang terbentuk oleh penggantian metasomatik pada batuan karbonat, biasanya batugamping atau dolomit akibat interaksi dengan larutan hidrotermal kaya silikat. Cebakan skarn banyak dijumpai pada zona kontak antara batuan beku intrusif, seperti granit, dengan batuan karbonat. Skarn juga dapat terbentuk di tempat lain dimana batuan karbonat bersentuhan dengan fluida hidrotermal kaya unsur logam (Robb, 2005).

Mekanisme pembentukan skarn secara umum dapat dikelompokkan yaitu metamorfisme isokimia melibatkan rekristalisasi dan perubahan stabilitas mineral tanpa perpindahan massa yang signifikan, reaksi skarn dapat dihasilkan dari proses metamorfisme terhadap litologi berlapis, seperti serpih dan batugamping, dengan perpindahan massa antar lapisan dalam skala kecil (bimetasomatisme), skarnoid dihasilkan dari metamorfisme litologi yang tidak homogen dengan sejumlah perpindahan massa melalui pergerakan fluida skala kecil. Skarn metasomatik yang dikontrol fluida biasanya berbutir kasar dan tidak mencerminkan komposisi atau tekstur protolit (Meinert, 2005).

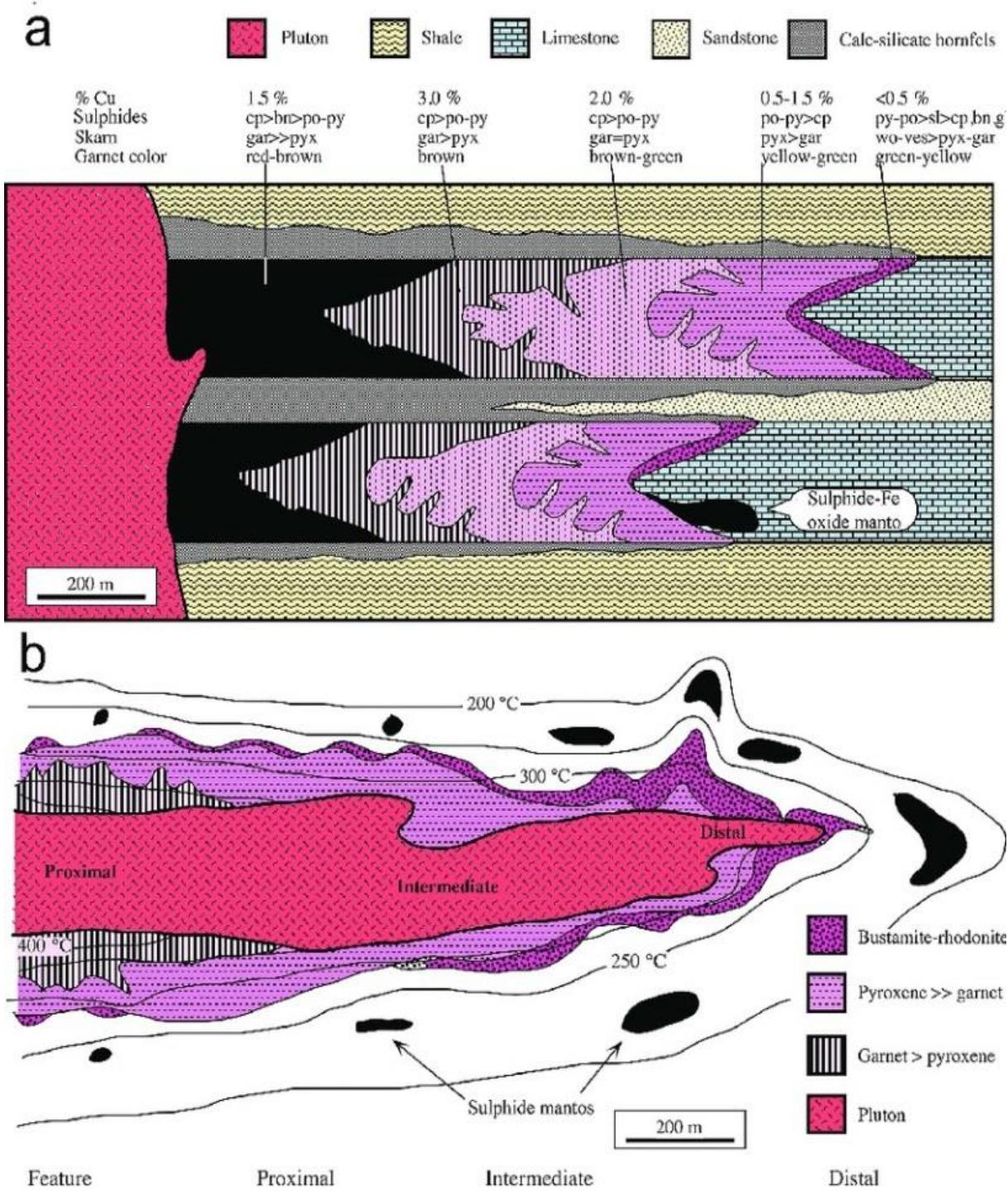
Pola zonasi yang khas telah dijelaskan oleh Meinert (2005), dengan contoh skarn Cu, Au, Pb-Zn dan W. Secara umum, rasio garnet:piroksen tinggi di dekat sumber

intrusif dan/atau saluran fluida, dan menjadi lebih rendah di lokasi yang jauh. Pada bagian depan marmer, biasanya terdapat zona vesuvianit dan/atau piroksenoid seperti wollastonit, bustamit, atau rhodonit. Jumlah eksoskarn biasanya jauh lebih besar dari pada endoskarn. Warna garnet biasanya lebih terang jika jauh dari saluran fluida, sedangkan warna piroksen menjadi lebih gelap. Pada skala distrik, skarn Cu biasanya terletak di bagian proksimal dan skarn Pb-Zn di bagian distal. Garnet dan piroksen di skarn distal lebih kaya akan manganese (Gambar 2).

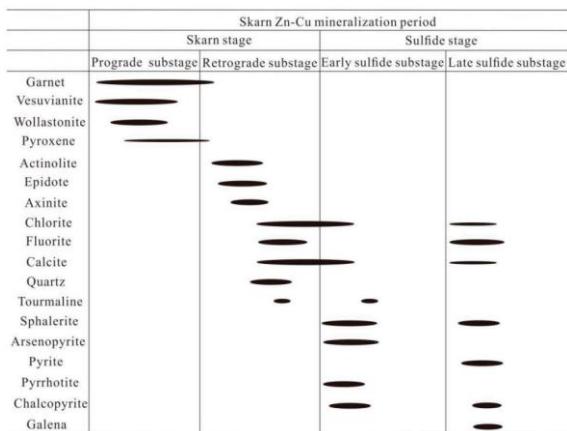
Dua tahapan pembentukan skarn dapat diidentifikasi secara mikroskopik yakni tahapan *prograde* dan *retrograde* (He Lei, et al., 2024). Tahap *prograde* diindikasikan oleh kehadiran mineral garnet, vesuvianit, piroksen, wolastonit. Tahap *retrograde* dicirikan oleh kehadiran mineral *axinite*, aktinolit, epidot, klorit (Gambar 3).



Gambar 1. Peta Geologi Daerah Ciemas, Jawa Barat (Zhang, et al., 2015)



**Gambar 2.** Pola zonasi skarn Cu; 2b. Pola zonasi skarn Zn  
(Meinert, et al., 2005)



**Gambar 3.** Paragenesis dari himpunan mineral yang menunjukkan urutan mineralisasi Zn-Cu deposit skarn (He Lei, et al., 2024)

## METODOLOGI

Data pada penelitian ini terdiri dari data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa geologi regional. Data primer didapatkan dari hasil pengeboran eksplorasi dan pemetaan alterasi dinding *Pit*, serta analisis laboratorium menggunakan metode *X-Ray Diffraction* (XRD), petrografi, dan minerografi. Analisis laboratorium tersebut dilakukan di Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP).

Sebanyak dua sampel batuan teralterasi dilakukan analisis XRD untuk mengkarakterisasi struktur kristal, ukuran kristal dari suatu bahan padat yang hasilnya untuk mengetahui jenis mineral alterasi (lempung) (Gambar 4).



**Gambar 4.** Preparasi sampel XRD

Empat sampel batuan dilakukan analisis petrografi melalui pengamatan mineral alterasi di bawah mikroskop polarisasi untuk menentukan jenis mineral alterasi dan jenis batuan (Gambar 5).



**Gambar 5.** Analisis Petrografi

Satu sampel mineral bijih sulfida dianalisis minerografi yang bertujuan untuk mendeskripsi tekstur dan kumpulan mineral bijih (*ore minerals*) dengan menggunakan mikroskop refleksi (Gambar 6).



**Gambar 6.** Analisis Minerografi

Pengeboran eksplorasi dilakukan pada empat titik dengan nomor lubang bor A\_01, B\_01, C\_01, dan D\_01, berada pada jarak  $\pm 300$  meter di sebelah selatan dari lokasi sampel dinding *Pit*. Kedalaman lubang bor 200 sampai 300 meter. Dari hasil pengeboran didapatkan log litologi, alterasi, dan mineralisasi. Sampel yang diambil dari lokasi *Pit* berjumlah empat sampel dengan kode terdiri dari NP\_TB, NP\_DAC, NP\_LSTM, dan NP\_LMS.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

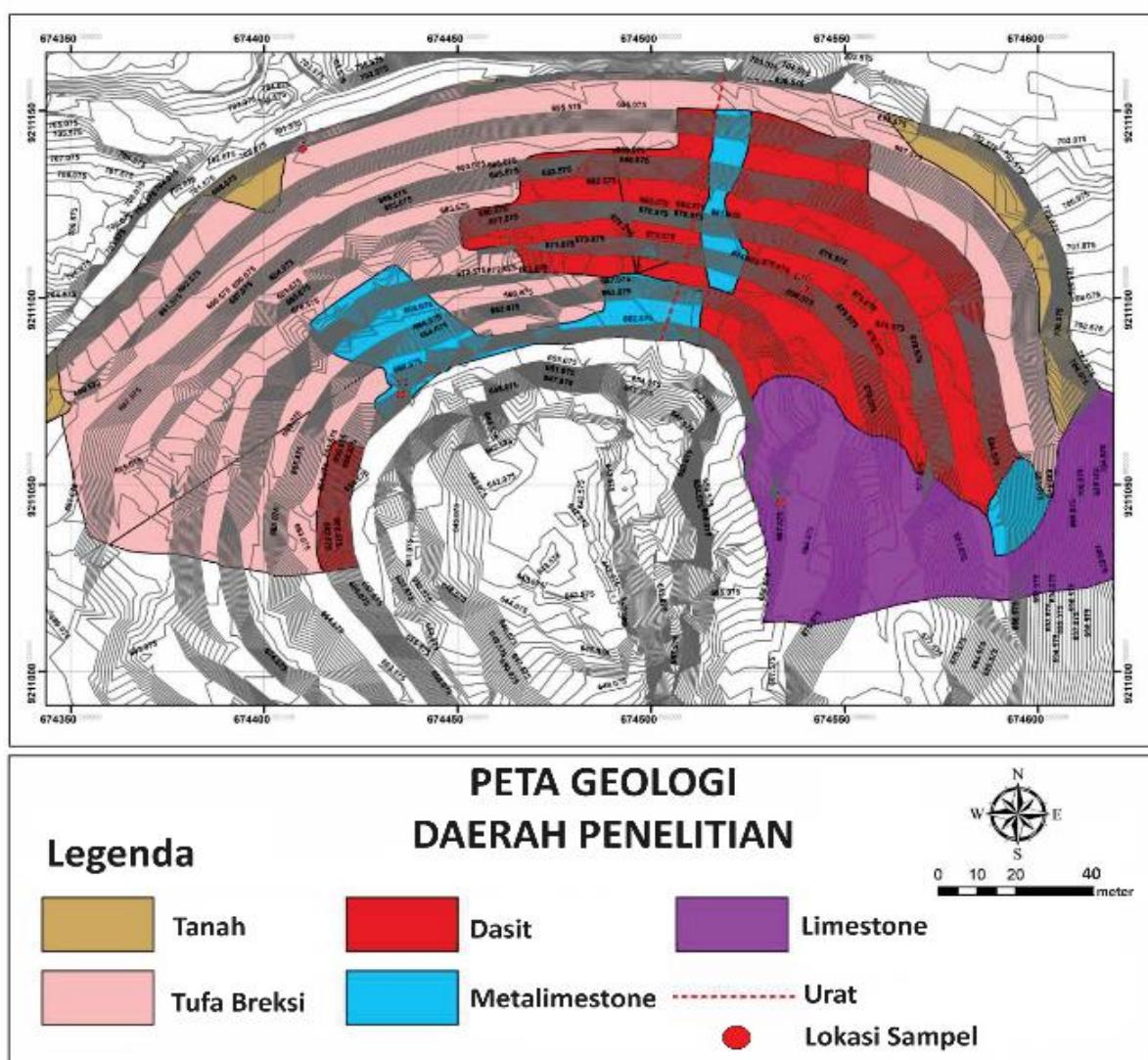
### Geologi Daerah Penelitian

Daerah penelitian merupakan bagian dari wilayah eksplorasi konsesi PT Generasi Muda Bersatu (GMB), tepatnya berlokasi di Cihaur, Simpenan, Sukabumi, Jawa Barat. Sebagian besar daerah penelitian ditempati oleh Formasi Jampang dengan litologi terdiri atas batuan vulkanik, dasit, batugamping, dan *metalimestone* (Gambar 7).

### Log Inti Bor

Berdasarkan hasil *logging* inti bor pada lubang nomor A\_01, B\_01, C\_01, dan

D\_01 diperoleh litologi batuan vulkanik (Gambar 8) (lapilli tuf, tuf breksia, kristal tuf, *calcareous lapilli tuf*), dasit (Gambar 9), *metalimestone* (Gambar 10), batugamping dan skarn (Gambar 11). Terdapat alterasi argilik yang dicirikan oleh mineral kaolin dan smektit. Alterasi propilitik dicirikan oleh mineral klorit, epidot, dan kalsit. *Marbellized* dicirikan oleh mineral yang hampir keseluruhannya kalsit. Skarnisasi dicirikan oleh mineral klinopiroksen, wollastonit, klorit-skarn, dan epidot-skarn. Zona mineralisasi yang diperoleh dari hasil pengeboran berupa skarn dicirikan oleh adanya galena (PbS), sfalerit (ZnS), pirhotit ( $Fe_{(1-x)}S$ ), pirit ( $FeS_2$ ), dan kalkopirit ( $CuFeS_2$ ).



Gambar 7. Peta geologi daerah penelitian



**Gambar 8.** Pada lubang bor nomor A\_01, inti bor kedalaman 15,00 s.d 20,00 meter, memperlihatkan tufa kristal, teralterasi kuat, mineral alterasi berupa kaolin-smektit, terdapat sedikit hematit dan mangan, sangat lapuk



**Gambar 9.** Pada lubang bor nomor A\_01, inti bor kedalaman 240,00 s.d 245,00 meter, memperlihatkan dasit porfiri, teralterasi sedang oleh klorit-epidot-kalsit, dan teralterasi lemah oleh silika, terdapat urat silika di kedalaman 241,65 meter, terdapat *veinlet* epidot dan kalsit, urat kuarsa-kalsit di kedalaman 244,40 meter, kalsit mengisi rekahan, sedikit hornblenda

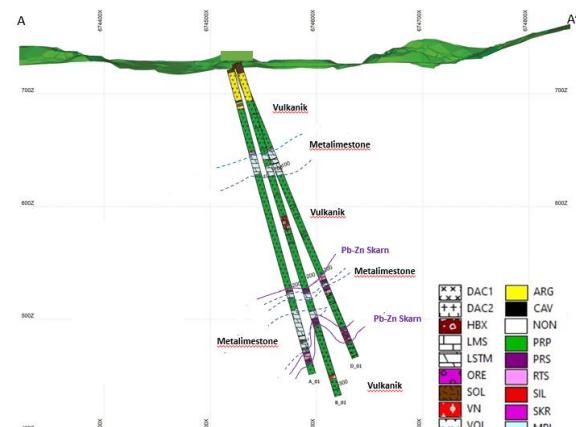


**Gambar 10.** Pada lubang bor nomor A\_01, inti bor kedalaman 90,00 s.d 95,00 meter, memperlihatkan metalimestone, termarmerkan sangat kuat, alterasi klorit sangat lemah, terdapat *veinlet* epidot dan klorit, *veinlet* kalsit-kuarsa di kedalaman 92,75 meter, terdapat pirit

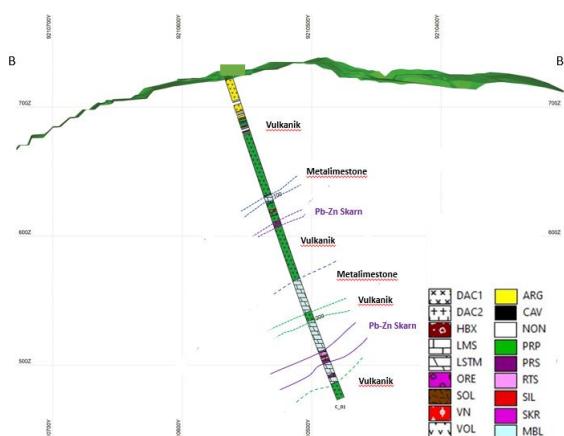


**Gambar 11.** Pada lubang bor nomor A\_01, inti bor kedalaman 256,50 s.d 258,00 meter, memperlihatkan batugamping, teralterasi sedang oleh klinopiroksen - wollastonit, alterasi sedang oleh klorit skarn, pelindian mineral pirhotit, *veinlet* yang terisi pirhotit di kedalaman 257,20 meter, *veinlet* silika di kedalaman 258,00 meter, pirhotit mendominasi, Pb-Zn skarn <1%

Hasil logging inti bor A\_01, B\_01, C\_01, dan D\_01, zona soil berada pada kedalaman 00,00 s.d 05,00 meter, zona argilik pada kedalaman 05,00 s.d 35,00 meter, zona propilitik pada kedalaman 35,00 s.d 200,00 meter, diantara zona propilitik terdapat marmer dikisaran kedalaman 100,00 meter, dan zona mineralisasi skarn terdapat diantara kedalaman 200,00 s.d 300,00 meter dengan ketebalan sekitar 5 s.d 20 meter. Komposisi bijih terdiri dari galena (1-3%), sfalerit (1-3%), pirit (<1%), pirhotit (10-15%), dan kalkopirit (<1%) (Gambar 12 dan Gambar 13).



**Gambar 12.** Penampang lubang bor A\_01, B\_01, dan D\_01



**Gambar 13.** Penampang lubang bor C\_01

### Pemetaan Alterasi Pit

Dari data hasil pemetaan *Pit* litologi yang diperoleh terdiri atas breksi tufa, dasit, batugamping, dan *metalimestone*. Alterasi yang dijumpai berupa alterasi argilik (Gambar 14), alterasi propilitik (Gambar 15), *marbellized* (Gambar 16), dan skarnisasi (Gambar 17).

### Hasil XRD

Berdasarkan hasil analisis XRD dari sampel dinding *Pit* nomor NP\_TB1 diperoleh mineral illit, kaolin, smektit, pirit, kuarsa, hematit, *manganese* (Gambar 19). Pada sampel NP\_LMS1 diperoleh mineral wollastonit, aktinolit, klorit, pirit, jarosit, *manganese*, kuarsa, dan hematit (Gambar 20). Referensi yang digunakan dalam analisis XRD ini yaitu: Chen, P. Y. (1977).



**Gambar 14.** Singkapan alterasi argilik pada dinding *Pit*



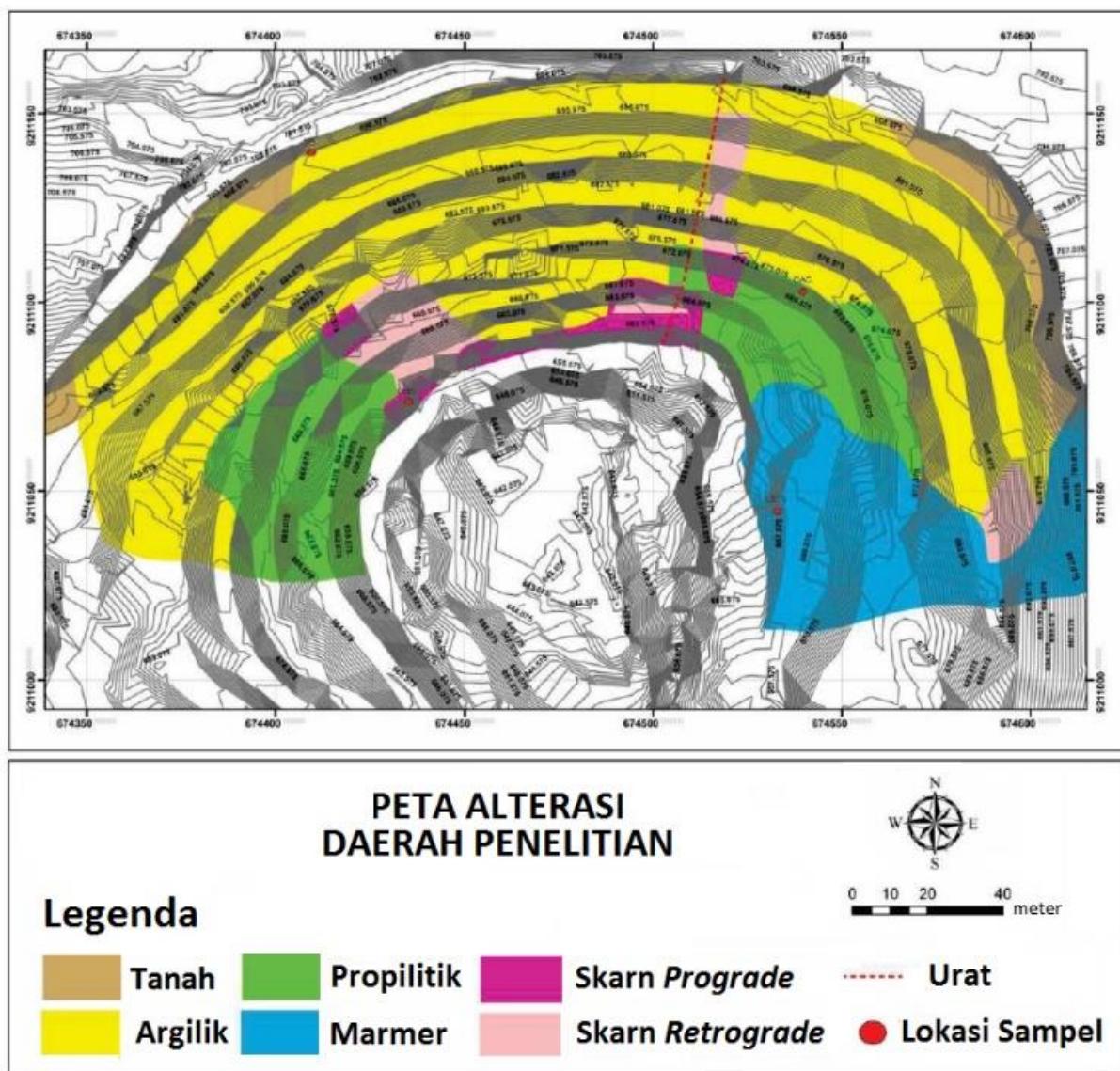
**Gambar 15.** Singkapan alterasi propilitik pada dinding *Pit* memperlihatkan mineral epidot yang berwarna hijau



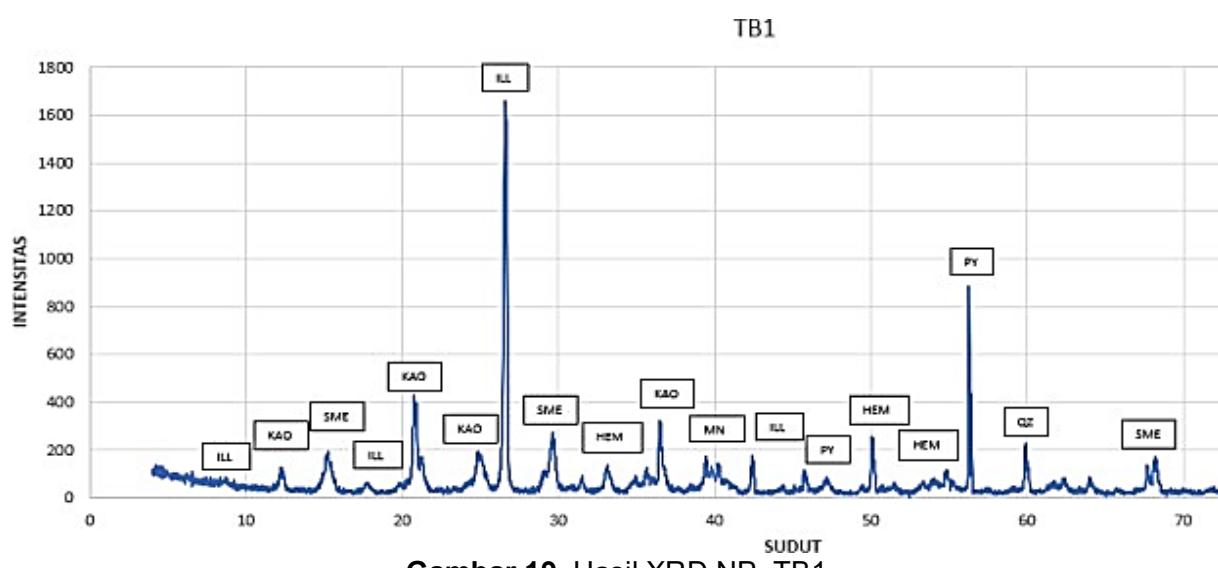
**Gambar 16.** Singkapan *marbellized* pada dinding *Pit* berwarna abu cerah dengan komposisi mineral kalsit



**Gambar 17.** Singkapan bijih skarnisasi pada dinding *Pit*

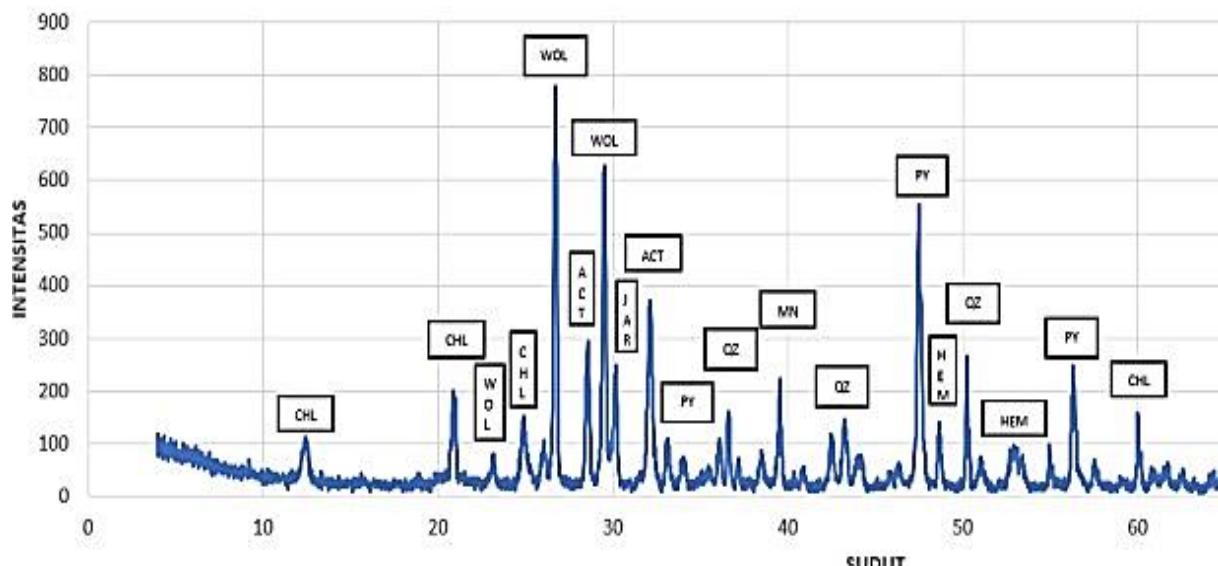


Gambar 18. Peta alterasi dalam daerah penelitian



Gambar 19. Hasil XRD NP\_TB1

## LMS1

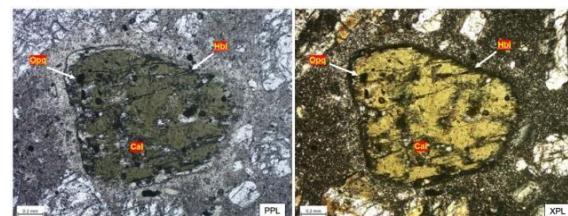


Gambar 20. Hasil XRD NP\_LMS1

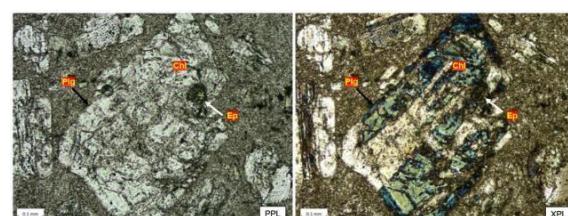
### Hasil Analisis Petrografi

Sampel dinding *Pit* yang digunakan pada analisis petrografi sebanyak tiga sampel yaitu NP\_DAC1, NP\_LSTM1, dan NP\_LMS2. Referensi yang digunakan dalam analisis petrografi ini yaitu: Thompson, et al., (1996), MacKenzie, et al., (1982), Adams, et al., (1984), dan MacKenzie, et al., (2017).

Berdasarkan hasil analisis petrografi sampel batuan di area penelitian pada kode sampel NP\_DAC1 secara megaskopis batuan berwarna abu-abu dengan ukuran kristal 0,3 – 2 mm, tekstur massif, holokristalin, dan bentuk subhedral – anhedral. Komposisi mineral primer terdiri dari plagioklas, kuarsa, hornblenda dan mineral opak. Mineral alterasi terdiri dari klorit, epidot, dan kalsit. Terdapat mineral kuarsa berwarna abu-abu cerah, dan didapati *microfracture* yang memotong kuarsa. Mineral hornblenda sebagian terubah oleh kalsit (Gambar 21). Mineral plagioklas sebagian terubah oleh klorit, dan terdapat juga mineral plagioklas yang sebagian terubah oleh klorit dan epidot (Gambar 22). Berdasarkan hasil analisis megaskopis dan petrografi menggunakan klasifikasi Streckeisen (1976), sampel batuan nomor NP\_DAC1 adalah dasit.



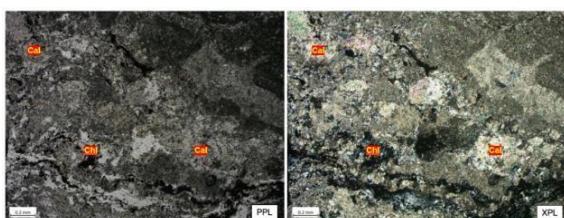
Gambar 21. Fotomikrogaf sayatan tipis sampel NP\_DAC1 memperlihatkan hornblenda (hbl) yang terisi oleh kalsit (cal) dan mineral opaq (opq)



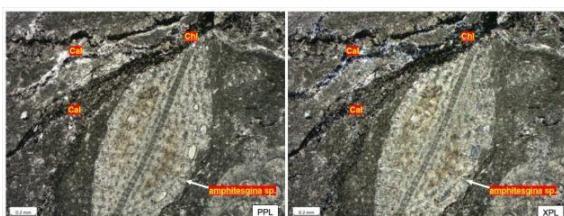
Gambar 22. Fotomikrogaf sayatan tipis sampel NP\_DAC1 memperlihatkan plagioklas (plg) yang sebagian terubah oleh klorit (chl) dan epidot (ep)

Sampel batuan NP\_LSTM1 secara megaskopis berwarna abu-abu cerah. Sayatan tipis tidak berwarna dengan hampir keseluruhannya berupa kalsit. Memiliki struktur massif, tekstur palimset/relict, bentuk kristal anhedral. Komposisi mineral terdiri dari kalsit, klorit, dan opak (Gambar 23). Sayatan tipis terdapat *relict* foram besar spesies

*amphitesgina* sp yang terisi oleh kalsit (Gambar 24). Veinlets yang terisi oleh kalsit, dan terdapat *relict coral skeletal grain* yang terisi kalsit. Berdasarkan hasil analisis megaskopis dan petrografi menggunakan klasifikasi Robertson (1999), sampel batuan nomor NP\_LSTM1 adalah *metalimestone*.

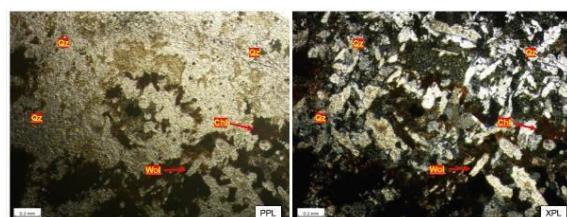


**Gambar 23.** Fotomikrogaf sayatan tipis sampel NP\_LSTM1 memperlihatkan *metalimestone* yang terdiri dari kalsit(cal) dan sedikit klorit (chl)



**Gambar 24.** Fotomikrogaf sayatan tipis sampel NP\_LSTM1 memperlihatkan *metalimestone* yang terdapat *relict coral amphitesgina* sp.

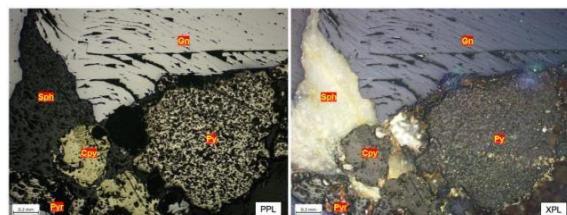
Sampel NP\_LMS2 secara megaskopis batuan berwarna kuning-hijau dengan ukuran kristal 0,3 – 1 mm. Tekstur batuan massif, Holokristalin, bentuk kristal subhedral – anhedral. Komposisi mineral primer terdiri dari kuarsa dan mineral opak. Mineral alterasi terdiri dari klorit, epidot, kalsit, dan wollastonit. Terdapat kalsit yang tergantikan oleh klorit, selanjutnya terdapat mineral opaq menggantikan sebagian klorit, serta terdapat alterasi silika (Gambar 25). Berdasarkan hasil analisis petrografi sampel batuan NP\_LMS2 adalah batugamping klastik bercampur dengan material lain (kuarsa dan mineral logam). Menurut Grabau (1904) batuan ini dinamakan kalkarenit karena ukuran butirnya sama dengan pasir (1/16 – 2mm).



**Gambar 25.** Fotomikrogaf sayatan tipis sampel NP\_LMS2 batugamping klastik (kalkarenit) memperlihatkan kuarsa (qz), klorit (chl), dan wollastonit (wol)

### Hasil Analisis Mineragrafi

Sampel bijih dinding *Pit* yang digunakan pada analisis mineragrafi sebanyak satu buah, dengan nomor NP\_LMS3. Referensi yang digunakan dalam analisis mineragrafi ini yaitu: Parcejus. B. (2015), Ineson, P. R. (2014), Augustithis, S. (2010). Hasil analisis mineragrafi dari sampel LMS3 menunjukkan beberapa mineral yang tersebar merata terdiri dari galena (PbS), sfalerit (ZnS), pirhotit ( $Fe_{(1-x)}S$ ), pirit ( $FeS_2$ ), dan kalkopirit ( $CuFeS_2$ ) (Gambar 26).



**Gambar 26.** Fotomikrogaf sayatan poles sampel NP\_LMS3 memperlihatkan mineral sulfida galena (gn), sfalerit (spl), pirhotit (pyr), pirit (py), kalkopirit (cpy)

### Alterasi dan Mineralisasi

Berdasarkan data log litologi hasil pengeboran dan ditunjang dengan hasil analisis XRD, petrografi dan mineragrafi beberapa sampel yang diambil dari Pit menunjukkan alterasi argilik dan propilitik, *marbellized* serta skarnisasi. Alterasi argilik dicirikan oleh mineral kaolin, illit dan smektit. Alterasi propilitik dicirikan oleh mineral klorit, epidot, dan kalsit. *Marbellized* dicirikan oleh mineral yang hampir keseluruhannya kalsit. Skarnisasi

dicirikan oleh mineral klinopiroksen, wollastonit, klorit-skarn, dan epidot-skarn.

Skarn di daerah penelitian terdapat mineral piroksen dan wollastonit, menurut He Lei, et al., 2024 merupakan indikasi tahap *prograde*, serta kehadiran mineral epidot, klorit, dan kalsit, merupakan indikasi tahap *retrograde* (Gambar 3).

Mineralisasi skarn di daerah penelitian dicirikan oleh adanya galena (PbS), sfalerit (ZnS), pirhotit ( $Fe_{(1-x)}S$ ), pirit ( $FeS_2$ ), dan kalkopirit ( $CuFeS_2$ ). Skarn berwarna hijau kehitaman, sangat keras, batas kontak dengan batuan dinding tidak teratur, kalkopirit jarang dijumpai, pirhotit-kalkopirit berasosiasi dengan klorit-piroksen. Mineralisasi pirhotit-pirit, pirhotit lebih mendominasi dibandingkan pirit, pada zona pirhotit kadang dijumpai tekstur *vuggy*. Kehadiran mineral piroksen dan wollastonit, serta galena dan sfalerit di daerah penelitian, menurut Meinert (2005) sebagaimana pada Gambar 2, menujukkan bahwa skarn terbentuk pada zona menengah hingga distal.

## KESIMPULAN

Alterasi pada *Pit* dan hasil pengeboran yang berkembang adalah alterasi argilik, alterasi propilitik, *marbellized* dan skarnisasi. Skarnisasi terdiri atas *prograde skarn* yang dicirikan oleh klinopiroksen, wollastonit, aktinolit dan *retrograde skarn* yang dicirikan oleh klorit-skarn dan epidot-skarn.

Mineralisasi pada *Pit* dan hasil pengeboran berupa galena (PbS), sfalerit (ZnS), pirhotit ( $Fe_{(1-x)}S$ ), pirit ( $FeS_2$ ), dan kalkopirit ( $CuFeS_2$ ). Kandungan mineral logam yang utama adalah galena dan sfalerit.

Berdasarkan aspek alterasi dan mineralisasi cebakan bijih di daerah penelitian, merupakan tipe skarn zona menengah hingga distal yang berkembang pada Formasi Jampang bagian bawah.

Berdasarkan hasil penelitian di dua lokasi, *Pit* dan pengeboran eksplorasi diperoleh zona mineralisasi skarn. Oleh sebab itu area di antara dua lokasi tersebut perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut untuk mengetahui kemenerusan zona mineralisasi skarn distal. Eksplorasi lebih lanjut juga untuk mengungkap potensi skarn menengah hingga proksimal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT. Generasi Muda Bersatu yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dan mempublikasi hasil penelitiannya, kepada Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi yang telah memberikan izin untuk melakukan preparasi dan analisis sampel, dan kepada Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung yang telah membantu dalam penulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adams, A. E., Mackenzie, W. S., & Guilford, C. (1984). *Atlas of Sedimentary Rocks under the Microscope*; Essex, UK.
- Arsah, I.F., Idrus,I., Handini, E., Ilmawan,I., Faruqi,M.D., dan Sukadana,I.G. (2023). Geologi dan Mineralogi Skarn Pb-Zn Cihaur di Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia:Sebuah pendahuluan. Prosiding Konferensi AIP2598.
- Augustithis, S. (2010). *Atlas of the textural patterns of ore minerals and metallogenic processes*. Walter de Gruyter.
- Bas, M. L., Maitre, R. L., Streckeisen, A., Zanettin, B., & IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. (1986). A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *Journal of Petrology*, 27(3), 745-750.
- Chen, P. Y. (1977). Table of key lines in X-ray powder diffraction patterns of minerals in clays and associated rocks. *Indiana Geological & Water Survey*.

- Grabau, A. W. (1904). On the Classification of Sedimentary Rocks.
- H. (2017). Rocks and minerals in thin section: A colour atlas. CRC Press.
- He, L., Liang, T., Wang, D., Zhang, J., & Liu, B. (2024). Skarn Formation and Zn–Cu Mineralization in the Dachang Sn Polymetallic Ore Field, Guangxi: Insights from Skarn Rock Assemblage and Geochemistry. *Minerals*, 14(2), 193.
- Ineson, P. R. (2014). Introduction to practical ore microscopy. Routledge.
- Laksana, B. A. D., Idrus, A., Husein, S., Faruqi, M. D., & Sukadana, I. (2023, June). Geology and ore characteristics of low sulfidation epithermal gold prospect in Cihaur Region, Simpenan, Sukabumi, West Java, Indonesia. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2598, No. 1). AIP Publishing.
- MacKenzie, W. S., Adams, A. E., & Brodie, K. H. (2017). Rocks and minerals in thin section: A colour atlas. CRC Press.
- MacKenzie, W. S., Donaldson, C. H., & Guilford, C. (1982). Atlas of igneous rocks and their textures (Vol. 148). Harlow: Longman.
- Meinert, L. D., Dipple, G. M., & Nicolescu, S. (2005). World skarn deposits.
- Parcejus, B. 2015. The Ore Minerals under The Microscope. Second Edition. Elsevier, Amsterdam.
- Robb, Laurence. (2005). Introduction to ORE-FORMING PROCESSES. Blackwell Science Ltd. AS.
- Robertson, S. J. (1999). BGS rock classification scheme. Volume 2, classification of metamorphic rocks.
- Thompson, A. J., Thompson, J. F. H., & Dunne, K. P. E. (1996). Atlas of alteration: a field and petrographic guide to hydrothermal alteration minerals.
- Zhang, Z., Wu, C., Yang, X., Zheng, C., & Yao, J. (2015). The trinity pattern of Au deposits with porphyry, quartz–sulfide vein and structurally-controlled alteration rocks in Ciemas, West Java, Indonesia. *Ore Geology Reviews*, 64, 152-171.





**ASAL USUL FLUIDA MANIFESTASI PANAS BUMI  
DAN ESTIMASI TEMPERATUR RESERVOIR DENGAN PENDEKATAN  
ANALISIS ISOTOP PADA DAERAH DANAU RANAU,  
OGAN KOMERING ULU (OKU) SELATAN, SUMATERA SELATAN**

**ORIGIN OF GEOTHERMAL MANIFESTATION FLUID AND DETERMINATION OF  
RESERVOIR TEMPERATURE USING ISOTOPE ANALYSIS APPROACH  
IN THE LAKE RANAU AREA,  
SOUTH OGAN KOMERING ULU (OKU), SOUTH SUMATERA**

**Mochammad Malik Ibrahim, Harnani, Stevanus Nalendra Jati,  
dan Rayhan Khairunnan Abiyuu**

Prodi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia

Email korespondensi: [malikibrahim100@ft.unsri.ac.id](mailto:malikibrahim100@ft.unsri.ac.id)

Diterima: 21 Februari 2024; Direvisi: 31 Mei 2024; Disetujui: 24 November 2024

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.467>

## **ABSTRAK**

Potensi panas bumi Daerah Danau Ranau berasal dari sisa-sisa aktivitas magmatik dari Gunung Seminung. Manifestasi panas bumi di daerah ini berupa mata air panas yang diperkirakan muncul melalui struktur geologi. Keberadaan fluida manifestasi panas bumi sangat menarik untuk diteliti, khususnya terkait asal usul dan perkiraan temperatur reservoir dengan pendekatan komposisi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$ . Asal usul fluida manifestasi penting diketahui untuk menentukan potensi sistem panas bumi dari fluida manifestasi permukaan terkait interaksi magmatik, evaporasi atau batuan. Metode penelitian ini menggunakan analisis isotop untuk menentukan asal usul fluida manifestasi panas bumi dan geotermometer isotop untuk memperkirakan temperatur reservoir. Pengambilan sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi di Desa Kota Batu sebanyak 3 sampel dan di Desa Lombok sebanyak 3 sampel. Hasil analisis isotop pada grafik hubungan antara  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  menunjukkan bahwa semua sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi berasal dari air meteорик. Persamaan nilai garis air meteорик lokal terdapat perbedaan pada nilai deuterium excess (DE) dibandingkan dengan persamaan nilai garis air meteорик global. Perubahan nilai DE ini diakibatkan adanya proses interaksi dan pencampuran (*mixing*) antara fluida panas bumi dan batuan (*connate water*) dengan sumber evaporasi dan presipitasi dari Danau Ranau. Hasil perhitungan geotermometer isotop berdasarkan faktor fraksinasi isotop, diperkirakan temperatur reservoir berkisar  $\pm 270$  °C. Perkiraan temperatur reservoir menunjukkan bahwa semua sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi tergolong dalam temperatur tinggi.

**Kata kunci:** Potensi Panas Bumi Danau Ranau, Manifestasi Panas Bumi, Analisis Isotop, Asal Usul Fluida Panas Bumi, Geotermometer Isotop

## ABSTRACT

The geothermal potential of the Lake Ranau area comes from the remains of magmatic activity from Mount Seminung. The geothermal manifestation in this area is in the form of hot springs which are thought to arise through geological structures. The existence of geothermal fluid manifestations is very interesting to research, especially regarding the origin and estimation of reservoir temperature using the  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  isotope composition approach. It is important to know the origin of fluid manifestations to determine the potential of geothermal systems from surface manifestations fluid related to magmatic, evaporation or rock interactions. This research method uses isotope analysis to determine the origin of geothermal fluid manifestations and isotope geothermometer to estimate reservoir temperature. Isotope sampling in geothermal manifestation fluids in Kota Batu Village was 3 samples and Lombok Village was 3 samples. The results of isotope analysis on the relationship graph between  $\delta^{18}\text{O}$  and  $\delta^2\text{H}$  show that all isotope samples in geothermal manifestation fluids come from meteoric water. The local meteoric water line value equation has a difference in the deuterium excess (DE) value compared to the global meteoric water line value equation. This change in DE value is due to the interaction and mixing process between geothermal fluid and rock (connate water) with the source of evaporation and precipitation from Lake Ranau. The results of isotope geothermometer calculations based on the isotope fractionation factor, it is estimated that the reservoir temperature is around  $\pm 270$  °C. Reservoir temperature estimates show that all isotope samples in geothermal manifestation fluids are classified as high temperatures.

**Keywords:** Geothermal Potential of Lake Ranau, Geothermal Manifestation, Isotope Analysis, Origin of Geothermal Fluids, Isotope Geothermometer

## PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada pertemuan antara tiga lempeng besar yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik sehingga menjadikan Indonesia memiliki tatanan tektonik yang kompleks. Pembentukan jalur gunung api Pasifik di sebagian wilayah Indonesia dan aktivitas tektonik dijadikan sebagai konseptual pembentukan sistem panas bumi Indonesia (Kasbani, 2009). Sistem panas bumi di Indonesia umumnya berupa sistem hidrotermal yang mempunyai temperatur tinggi ( $> 225$  °C) (Saptadji, 2009).

Berdasarkan data Badan Geologi (2023), potensi panas bumi di Indonesia mencapai 23,765 GW dan tersebar 361 titik lokasi pada 30 provinsi. Data Tahun 2023 Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi terdapat 55 titik potensi sebesar 42% digolongkan sebagai sumber daya panas bumi temperatur tinggi, 71 titik potensi sebesar 54% sebagai sumber daya panas bumi temperatur menengah dan sisanya sebagai sumber daya panas bumi temperatur rendah. Menurut Ditjen EBTKE

tahun 2023, realisasi kapasitas terpasang pembangkit listrik EBT tahun 2023 mencapai 13.155 MWe atau 13,16 GW, diantaranya berasal PLTP panas bumi sebesar 2.417,7 MWe (KESDM, 2024).

Eksplorasi panas bumi di Indonesia dimulai pada tahun 1970 dengan tujuan untuk menemukan dan mengembangkan sistem panas bumi bertemperatur tinggi. Kegiatan eksplorasi menerapkan gabungan metode geologi, geokimia, dan geofisika secara rinci yang digabungkan untuk menaksir karakteristik lapangan saat penentuan sumur eksplorasi dalam menduga keberadaan reservoir bertemperatur tinggi. (Hochstein & Sudarman, 2008).

Potensi panas bumi daerah Danau Ranau berasal dari sisa-sisa aktivitas magmatik yang berasal dari Gunung Seminung. Aktivitas tektonik yang membentuk danau ini mengakibatkan hadirnya kekar-kekar di daerah tersebut. Daerah penelitian ditemukan Sesar Liwa yang merupakan sesar aktif pada rangkaian sistem Sesar Sumatera (Aribowo dkk, 2017).

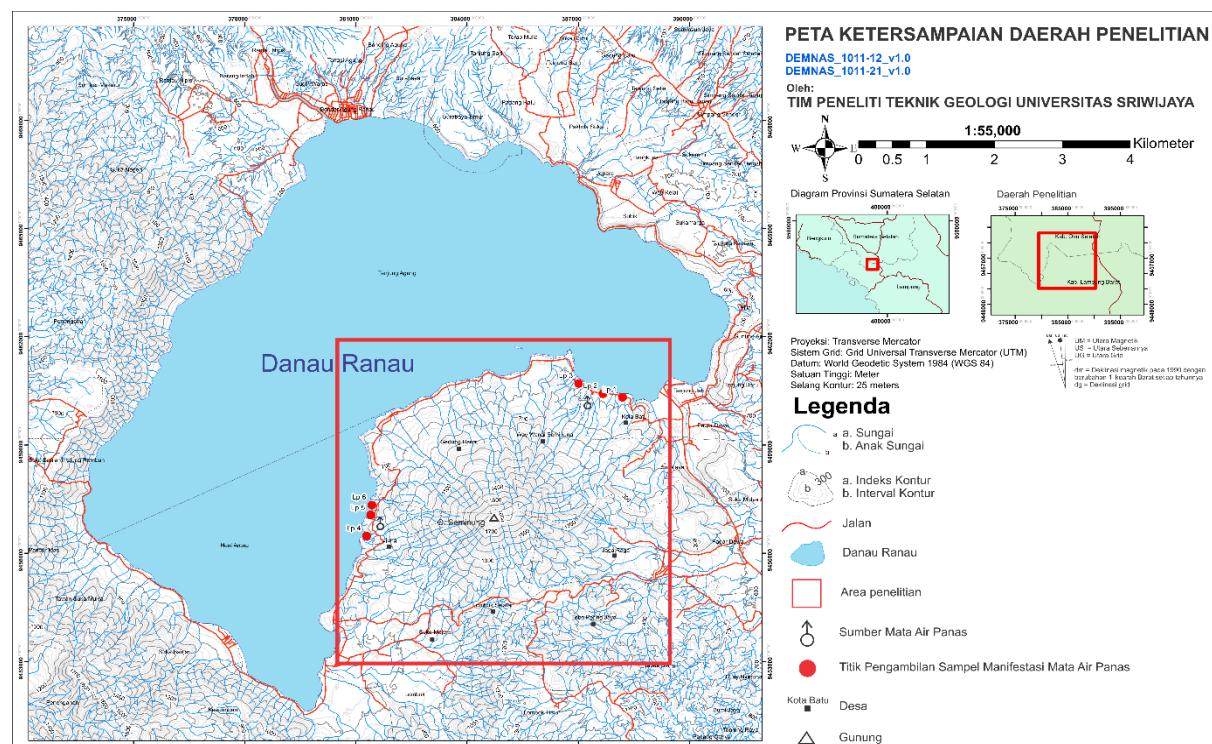
Lapangan panas bumi Danau Ranau merupakan salah satu prospek panas bumi di Indonesia. Manifestasi panas bumi di Danau Ranau terdiri dari delapan mata air panas dan dua batuan teralterasi. Semua mata air panas ini terletak di pinggir danau yaitu Lombok, Talang Kedu, Kota Batu, Kerincing, dan Wai Wangi (Wioso dkk, 2022).

Penelitian mengenai kajian isotop pada manifestasi fluida panas bumi sangat penting untuk melengkapi studi geokimia pada tahap eksplorasi potensi panas bumi di suatu daerah. Pendekatan isotop digunakan dengan tujuan untuk mengetahui asal usul fluida manifestasi panas bumi, seperti terkait interaksi dengan magmatik, evaporasi atau batuan (Hamed, 2014) dan menentukan temperatur reservoir dengan metode geotermometer isotop pada daerah panas bumi (Abidin dkk, 1996).

Asal-usul manifestasi fluida panas bumi pada lokasi penelitian dapat diketahui melalui pendekatan isotop, dengan cara mengukur komposisi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  dalam sampel air yang diambil (Meng dkk,

2015). Interaksi antara sumber panas dan air tanah dapat ditentukan berdasarkan grafik hubungan  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$ , berasal dari pemanasan batuan atau ada pengaruh magma dari aktivitas gunung api. Metode geotermometer isotop dilakukan untuk mendapatkan temperatur reservoir berdasarkan perhitungan formula Mizutani & Rafter (1969).

Secara administratif daerah penelitian ini berada pada koordinat UTM 380000 mE – 392000 mE dan 9462000 mN - 9449200 mN, dengan luas area daratan sekitar 127 km<sup>2</sup> (Ibrahim dkk, 2022). Daerah penelitian panas bumi Danau Ranau memiliki luas sekitar 12 x 13 km<sup>2</sup> berada pada ketinggian 500 – 1800 m dari permukaan laut (Gambar 1). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui asal usul fluida manifestasi panas bumi dan menentukan perkiraan temperatur bawah permukaan (reservoir) berdasarkan pendekatan isotop pada daerah panas bumi Danau Ranau. Dengan latar belakang tersebut, penelitian kajian isotop pada manifestasi fluida panas bumi sangat penting dilakukan dan merupakan bagian dari studi potensi panas bumi, selain studi geologi dan geofisika.



Gambar 1. Peta lokasi daerah penelitian (modifikasi dari Ibrahim dkk, 2022)

Kondisi geologi Daerah Danau Ranau (Gambar 2), terbentuk dari deposit Kuarter dan Formasi batuan Tersier. Deposit Kuarter tersusun oleh aluvium, deposit Gunungapi Kukusan, deposit Gunungapi Seminung dan deposit Gunungapi Pugung. Urutan formasi batuan dari paling muda ke tua yang berumur Tersier tersusun oleh Formasi Ranau, Formasi Bal dan Formasi Hulusimpang (Ibrahim dkk, 2020). Kemunculan zona debit di permukaan ditandai dengan manifestasi permukaan yang keluar dari kontak litologi dan sesar yang terbentuk di sekitar Gunung Seminung yang terletak di wilayah Lombok dan Kota Batu (PSDG, 2004).

## METODOLOGI

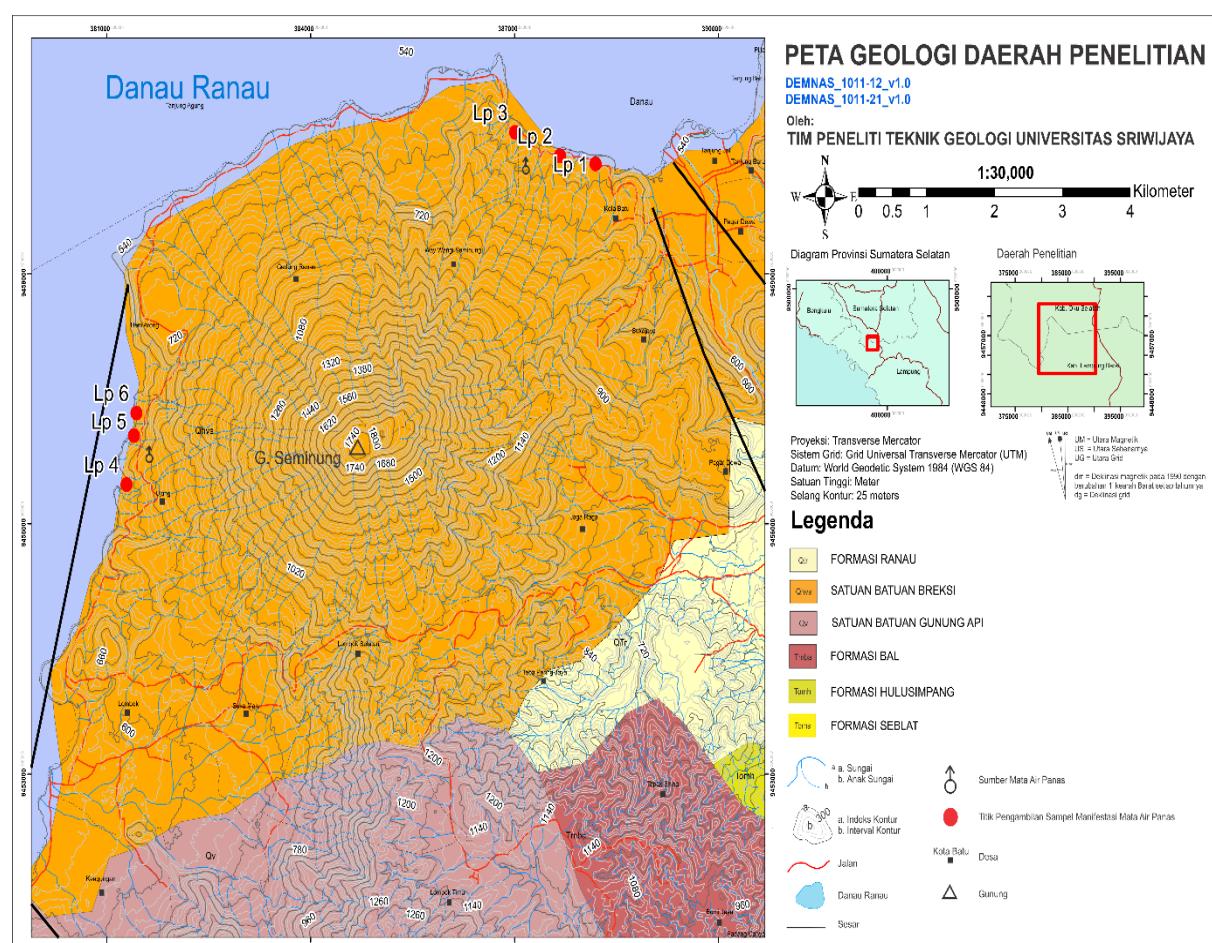
Metode yang digunakan pada penelitian ini meliputi peralatan dan pengambilan sampel, pengukuran nilai isotop, analisis

isotop dan geotermometer isotop.

## Peralatan dan Pengambilan Sampel

Peralatan yang digunakan untuk pengambilan sampel adalah botol HDPE (*high density polyethylene*), kertas saring gayung dan corong (Gambar 3). Pengambilan sampel air dimasukkan ke dalam botol HDPE sebanyak 20 ml pada 6 titik lokasi manifestasi panas bumi daerah penelitian. Gelembung udara dalam botol harus dihindari untuk mencegah evaporation dan meminimalisir fraksinasi isotop.

HDPE merupakan sejenis bahan plastik berkualitas yang digunakan untuk mencegah reaksi kimia dengan bahan yang ditampung di dalamnya. HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan terhadap temperatur tinggi.





**Gambar 3.** Peralatan yang digunakan dalam pengambilan sampel

### Pengukuran Nilai Isotop

Pengolahan data dilakukan di laboratorium Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) Bandung dengan metode *Cavity Ringdown Spectrometer* menggunakan alat Picarro L 2120-i. Hasil perhitungan analisis isotop mengacu pada standar internasional *SMOW* (*Standard Mean Ocean Water*) yang memiliki nilai sebesar 0 ‰ secara definitif (Aggarwal dkk, 2009). Hasil perhitungan isotop dinyatakan dalam rasio relatif delta ( $\delta$ ) pada persamaan (1) dan (2), sebagai berikut :

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{\text{RH}_2^{18}\text{O}_{\text{sampel}} - \text{RH}_2^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}}{\text{RH}_2^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}} \times 1000 \text{ ‰} \quad (1)$$

$$\delta^2\text{H} = \frac{\text{RH}^2\text{HO}_{\text{sampel}} - \text{RH}^2\text{HO}_{\text{SMOW}}}{\text{RH}^2\text{HO}_{\text{SMOW}}} \times 1000 \text{ ‰} \quad (2)$$

dimana  $\text{RH}_2^{18}\text{O}_{\text{sampel}}$  dan  $\text{RH}^2\text{HO}_{\text{sampel}}$  adalah kelimpahan molekul  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  dan  $\text{H}^2\text{HO}$  dari sampel.  $\text{RH}_2^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$  dan  $\text{RH}^2\text{HO}_{\text{SMOW}}$  adalah kelimpahan molekul  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  dan  $\text{H}^2\text{HO}$  dari standar SMOW.  $\delta^{18}\text{O}$  adalah kelimpahan  $^{18}\text{O}$  sampel (kelimpahan relatif molekul  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  dalam satuan ‰).  $\delta^2\text{H}$  adalah kelimpahan  $^2\text{H}$

sampel (kelimpahan relatif molekul  $\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$  dalam satuan ‰).

### Analisis Isotop

Keuntungan dari penggunaan isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  dibandingkan dengan peruntutan isotop lainnya yaitu komposisi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  air hujan yang menunjukkan hubungan linier antara  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  berupa garis meteorik global (*global meteoric water line*) (Delattre dkk, 2015). Air hujan atau air meteorik cenderung memiliki komposisi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  yang lebih ringan (*depleted*) pada daerah lintang yang lebih tinggi (Prada dkk, 2016). Fenomena ini juga terjadi saat kedua isotop tersebut bergerak jauh ke dalam daratan. Dengan alasan ini, hasil plot kedua isotop menghasilkan kemiringan yang sedikit berbeda dan dikenal dengan garis meteorik lokal (Delattre dkk, 2015).

Komposisi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  sampel air dapat menunjukkan proses fisik yang dialami dalam siklus hidrologi seperti evaporasi, pencampuran, maupun interaksi air-batu. Proses fisik tersebut dapat diidentifikasi lebih mudah dengan menggunakan bantuan plot  $\delta^{18}\text{O}$  terhadap  $\delta^2\text{H}$  (Gambar 4).

Proses evaporasi permukaan membuat komposisi  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  menyimpang dari garis meteorik, membentuk garis yang lebih landai dengan *slope* sekitar 5. Sementara di daerah panas bumi dapat terjadi interaksi air–batuan pada temperatur tinggi mengakibatkan pengkayaan komposisi  $\delta^{18}\text{O}$  air (*oxygen shift*), namun komposisi  $\delta^2\text{H}$  relatif konstan karena mineral batuan sangat sedikit atau tidak mengandung hidrogen (Giggenbach, 1992). Demikian pula proses pencampuran (*mixing*) antara dua sumber air (*end members*) dapat ditunjukkan dengan jelas dalam grafik tersebut (Satrio dkk, 2020).

#### Geotermometer Isotop

Perhitungan geotermometer isotop berdasarkan data analisis kandungan  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  dalam fluida manifestasi panas bumi (Abidin dkk, 1996). Formula perhitungan geotermometer isotop menggunakan faktor fraksinasi ( $\alpha$ ) isotop menurut hasil eksperimen yang dikembangkan oleh Mizutani & Rafter (1969). Berikut ini formula perhitungan geotermometer isotop pada

persamaan (3) dan (4).

$$\alpha = \frac{1000 + \delta^{18}\text{O}}{1000 + \delta^2\text{H}} \quad (3)$$

$$1000 \ln \alpha = \frac{2,88 \times 10^6}{T^2} - 4,1 \quad (4)$$

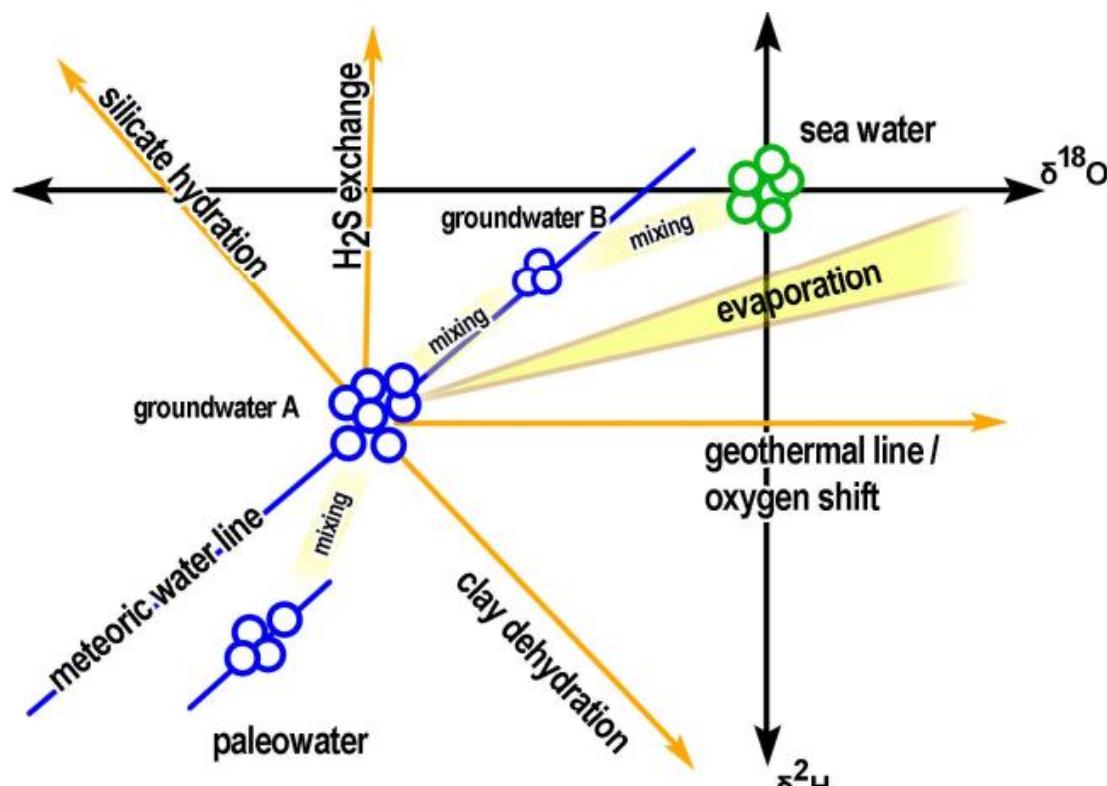
dimana,  $\alpha$  adalah faktor fraksinasi dan  $T$  adalah temperatur reservoir dalam derajat Kelvin.

#### Klasifikasi Sistem Panas Bumi Berdasarkan Temperatur Reservoir

Klasifikasi sistem panas bumi berdasarkan temperatur reservoir menurut Hochstein (1990), terbagi menjadi tiga kategori (Tabel 1) sebagai berikut:

**Tabel 1.** Klasifikasi berdasarkan pada temperatur reservoir (Hochstein, 1990)

Klasifikasi Temperatur	Temperatur Reservoir ( $^{\circ}\text{C}$ )
Rendah	< 125
Menengah	125 – 225
Tinggi	> 225



**Gambar 4.** Tipikal grafik  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  dalam siklus hidrologi (Geyh, 2000)

## HASIL

Hasil pengamatan di lapangan diketahui bahwa daerah Danau Ranau mempunyai 6 titik kemunculan manifestasi panas bumi akibat adanya struktur geologi berupa mata air panas (*hotsprings*). Deskripsi dan karakteristik pada manifestasi panas bumi dilakukan pengukuran temperatur dan pH pada semua 6 titik lokasi untuk diketahui karakteristik fluida pada manifestasi tersebut (Tabel 2).

Manifestasi panas bumi memiliki rentang nilai temperatur  $49,2 - 58,3^{\circ}\text{C}$  dan nilai pH  $6,3 - 6,8$ . Karakteristik fluida pada manifestasi panas bumi memiliki ciri fisik berupa kondisi jernih, air bergelembung, berbau belerang dan bersifat netral.

Pengambilan sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi di Desa Kota Batu sebanyak 3 sampel (LP-I, LP-II dan LP-III)

dan pengambilan sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi di Desa Lombok sebanyak 3 sampel (LP-IV, LP-V dan LP-VI) (Gambar 5). Hasil analisis isotop (Tabel 3) menunjukkan rentang komposisi isotop sampel berkisar  $-7,38\text{‰}$  hingga  $-7,92\text{‰}$  untuk  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $-45,29\text{‰}$  hingga  $-48,00\text{‰}$  untuk  $\delta^2\text{H}$ .

**Tabel 2.** Deskripsi fluida pada manifestasi panas bumi

No.	Kondisi	Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	pH	Nama Desa
1.	Jernih	54,8	6,5	Kota Batu (1)
2.	Jernih	54,8	6,5	Kota Batu (2)
3.	Jernih	52,6	6,7	Kota Batu (3)
4.	Jernih	49,2	6,4	Lombok (1)
5.	Jernih	58,3	6,8	Lombok (2)
6.	Jernih	51,7	6,3	Lombok (3)



**Gambar 5.** Pengambilan sampel isotop

**Tabel 3.** Hasil analisis isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  pada fluida manifestasi panas bumi

No.	Lokasi	Kode Sampel	Koordinat (UTM)		Parameter	
			Bujur (m)	Lintang (m)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	$\delta^2\text{H}$ (‰)
1.	Kota Batu (1)	LP – I	387381	9460559	-7,66	-46,56
2.	Kota Batu (2)	LP – II	387221	9460672	-7,92	-48,00
3.	Kota Batu (3)	LP – III	386960	9460895	-7,38	-47,72
4.	Lombok (1)	LP – IV	381140	9456019	-7,76	-46,90
5.	Lombok (2)	LP – V	381172	9456316	-7,84	-47,32
6.	Lombok (3)	LP – VI	381261	9457000	-7,40	-45,29

## PEMBAHASAN

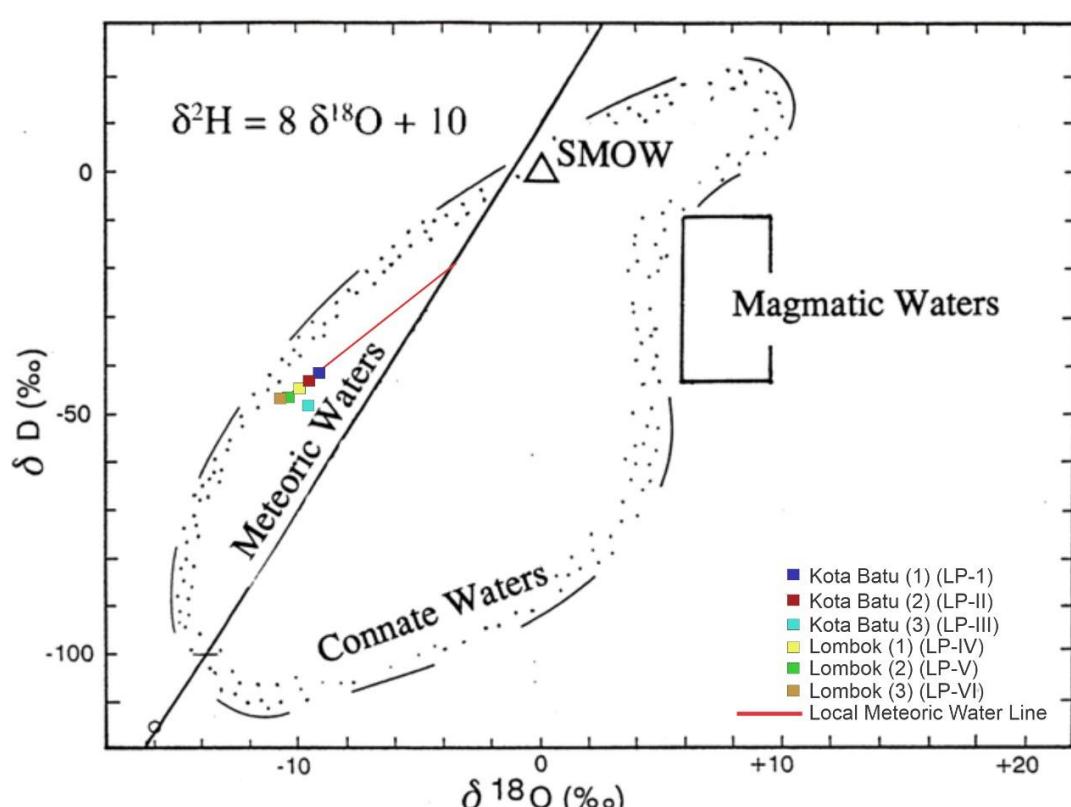
Berdasarkan data hasil analisis isotop dapat dibuat grafik hubungan antara  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  (Gambar 6). Grafik hubungan antara  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  menunjukkan bahwa semua sampel isotop berada pada posisi hampir linier terhadap garis air meteorik global (*global meteoric water line*), menandakan fluida manifestasi panas bumi daerah penelitian berasal dari air meteorik.

Perhitungan persamaan garis regresi linier menggunakan program excel, diperoleh persamaan garis air meteorik lokal daerah penelitian sebesar  $\delta^2\text{H} = 2,150\delta^{18}\text{O} + 30,49$  dengan  $R^2 = 0,25$ . Persamaan garis air meteorik global sebesar  $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$  dengan  $R^2 = 1$ . Kedua persamaan tersebut terdapat perbedaan pada nilai *deuterium excess* (DE). Nilai DE garis air meteorik global sebesar 10, sedangkan nilai DE untuk garis air meteorik lokal pada daerah penelitian sebesar 30,49. Persamaan nilai garis air meteorik lokal lebih tinggi dibandingkan dengan persamaan nilai garis air meteorik global.

Perubahan nilai DE ini diakibatkan adanya proses interaksi dan pencampuran (*mixing*) antara fluida panas bumi dan batuan (*connate water*) dengan sumber evaporasi dan presipitasi dari Danau Ranau.

Perbedaan dari garis air meteorik lokal daerah penelitian dan garis air meteorik global terjadi karena perbedaan garis lintang dan geografis dari Danau Ranau tempat pengambilan sampel air.

Hasil perhitungan nilai faktor fraksinasi dan geotermometer isotop menggunakan formula dan referensi dari Mizutani & Rafter (1969). Perhitungan nilai faktor fraksinasi menggunakan persamaan (3) pada semua sampel isotop. Nilai faktor fraksinasi yang telah dihitung berkisar 1,039 - 1,042. Nilai faktor fraksinasi ini digunakan untuk menghitung geotermometer isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  menggunakan persamaan (4). Berdasarkan hasil perhitungan geotermometer isotop, diperkirakan temperatur reservoir berkisar  $\pm 270\text{ }^\circ\text{C}$  pada semua sampel isotop (Tabel 4).



Gambar 6. Grafik isotop hubungan antara  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  daerah penelitian

**Tabel 4.** Hasil perhitungan geotermometer isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  pada fluida manifestasi panas bumi menurut formula Mizutani & Rafter (1969)

No.	Lokasi	Kode Sampel	Fraksinasi ( $\alpha$ )	Temperatur Reservoir (°C)
1.	Kota Batu (1)	LP – I	1,041	269,961
2.	Kota Batu (2)	LP – II	1,042	270,030
3.	Kota Batu (3)	LP – III	1,042	270,043
4.	Lombok (1)	LP – IV	1,041	269,975
5.	Lombok (2)	LP – V	1,041	269,995
6.	Lombok (3)	LP – VI	1,039	269,900

Menurut Abidin dkk (1996), penggunaan geotermometer isotop menunjukkan hasil yang baik dalam menentukan tingginya temperatur reservoir dan saling mendukung dengan hasil geotermometer kimia. Faktor fraksinasi kesetimbangan isotop oksigen dan hidrogen antara cairan air dan uap air telah ditentukan secara tepat dari temperatur 25 hingga 350°C pada skala VSMOW-SLAP (*Vienna Standard Mean Ocean Water-Standard Light Antarctic Precipitation*) menurut Horita & Wesolowski (1994).

Perkiraan temperatur reservoir menunjukkan bahwa semua sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi tergolong dalam temperatur tinggi dan hampir tidak mengalami perubahan temperatur. Penggolongan temperatur tinggi pada temperatur reservoir berdasarkan klasifikasi dari Hochstein (1990).

Pada daerah penelitian sudah dilakukan penelitian tentang geoindikator oleh KESDM (2017). Hasil analisis kimia air menunjukkan bahwa manifestasi fluida panas bumi pada kondisi immature water atau belum mencapai kesetimbangan.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa estimasi temperatur reservoir melalui analisis kimia air dan gas masih terbatas. Namun, penelitian Rera (2020) memperkirakan estimasi temperatur reservoir sebesar 200 - 269 °C berdasarkan geotermometer kimia pada mata air panas di desa Lombok dengan tipe air *dilute sulfida-bikarbonat*. Temuan ini didukung oleh simulasi model numerik yang dilakukan oleh Afiat (2020), yang memperkirakan temperatur reservoir serupa. Secara perhitungan statistik, nilai

rata-rata temperatur reservoir sebesar 269,984  $\pm$  40.39 dengan tingkat kepercayaan 95%.

## KESIMPULAN

Hasil analisis isotop pada daerah penelitian menunjukkan asal usul fluida manifestasi panas bumi berasal dari air meteorik. Hal ini terjadi proses interaksi dan pencampuran (*mixing*) antara fluida panas bumi dan batuan (*connate water*) serta evaporasi permukaan. Persamaan nilai garis air meteorik lokal lebih tinggi dibandingkan dengan persamaan nilai garis air meteorik global. Perubahan nilai akibat adanya proses interaksi dan pencampuran (*mixing*) antara fluida panas bumi dan batuan (*connate water*) dengan sumber evaporasi dan presipitasi dari Danau Ranau. Hasil perhitungan geotermometer isotop berdasarkan faktor fraksinasi isotop memiliki temperatur reservoir berkisar  $\pm$  270 °C, tergolong potensi panas bumi dengan temperatur tinggi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Perangkat Desa Kota Batu, Desa Lombok dan mahasiswa Teknik Geologi Unsri yang turut terlibat di daerah penelitian. Semua penulis tidak memiliki konflik kepentingan (*conflict of interest*) pada publikasi artikel ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Z., Wandowo, Indrojono, Djono, Alip & Evarista, 1996, *Penentuan Temperatur Reservoir Panas Bumi Dengan Metode Geotermometer Isotop*, Aplikasi Isotop dan Radiasi.

- Afiat, Idianto, O., Rera, G.F., Wardoyo, G.K., Sutopo, Pratama, H.B. & Hamdani, M.R., 2020, Updated Conceptual Model and Resource Assessment using Numerical Reservoir Simulation of Danau Ranau Geothermal Field Indonesia, ITB International Geothermal Workshop 2020, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 732 (2021) 012027.
- Aggarwal, P., Groening, L., Kulkarni, K.M., Kurttas, T., Newman, B.D. & Tanweer, A., 2009, *Laser Spectroscopic Analysis of Liquid Water Samples for Stable Hydrogen and Oxygen Isotopes*, IAEA Train. Course Ser. 35.
- Aribowo, S., Muslim, D., Winantris, Danny, H., Natawidjaja, Mudrik, R. & Daryono, 2017, *Sub-Segmentasi Sesar Pada Segmen Kumering Antara Danau Ranau Hingga Lembah Suoh, Lampung Barat*, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi, Vol. 8 No. 1 Hal 31 – 45.
- Badan Geologi, 2023, *Neraca Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi Indonesia*, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Bandung.
- Delattre, H., Vallet-Coulob, C., & Sonzogni, C., 2015, *Deuterium Excess In The Atmospheric Water Vapor of A Mediterranean Coastal Wetland: Regional VS. Local Signatures*, Atmospheric Chemistry and Physics. 15, 10167–10181. <https://doi.org/10.5194/acp-15-10167-2015>
- Geyh, M., 2000, *Groundwater, Saturated and Unsaturated Zone*, In: Mook, W. G. (ed). Environmental Isotopes in The Hydrological Cycle, Principles and Applications. Technical Documents in Hydrology, Vol 4. No 39. UNESCO, Paris.
- Giggenbach, W.F., 1992, *Isotopic Shifts In Waters From Geothermal and Volcanic Systems Along Convergent Plate Boundaries and Their Origin*, *Earth Planet. Sci. Lett.* 113, 495–510.
- Hamed, Y., 2014, *Stable Isotope Ratios in Meteoric Waters in El Kef Region, Northwestern Tunisia: Implications for Changes of Moisture Sources*, *Journal of Earth Science and Climate Change* 05, 1–6. <https://doi.org/10.4172/21577617.100203>
- Hochstein, M.P., 1990, *Classification and Assessment of Geothermal Resources*, In: Dockson M.H. and Fanelli M. (eds) *Small Geothermal Resources*, UNITAR/UNDP Centre for Small Energy Resources, Rome, Italy.
- Horita, J. & Wesolowski, D.J., 1994, Liquid-vapor fractionation of oxygen and hydrogen isotopes of water from the freezing to the critical temperature, *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 58 No. 16. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(94\)90096-5](https://doi.org/10.1016/0016-7037(94)90096-5)
- Ibrahim, M.M., Puspita, M., Andarini, D., Marbun, A.G. & Arifianto, D.I., 2020, *Identifikasi Dan Interpretasi Geologi Berdasarkan Citra Penginderaan Jauh Pada Daerah Panas Bumi Danau Ranau, Ogan Komering Ulu (OKU) Selatan, Sumatera Selatan*, Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumian Ke-II, Vol 2, No 1.
- Ibrahim, M.M., Pranata, R., Nababan, B.S., Heriani, N., Maharani, A., Situmorang, A.S.J., Puspita, D., Landia, K. P. & Harfiandri, M.S., 2022, *Karakteristik Manifestasi Dan Rekomendasi Pemanfaatan Potensi Panas Bumi Pada Daerah Danau Ranau, Ogan Komering Ulu (OKU) Selatan, Provinsi Sumatera Selatan*, Prosiding Seminar Nasional AVoER XIV, Hal 87-91.
- Kasbani, 2009, *Tipe Sistem Panas Bumi Di Indonesia dan Estimasi Potensi Energinya*, Buletin Sumber Daya Geologi, 4 (3):23-30, Badan Geologi, Bandung.

- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), 2017, *Potensi Panas Bumi Indonesia Jilid 1*, Jakarta : Direktorat Panas Bumi, Direktorat Jenderal EBTKE, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi, Badan Geologi.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), 2019, Diskusi Peluang Pengembangan Panas Bumi Temperatur Menengah, *Direktorat Jenderal EBTKE*.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), 2024, Kinerja Subsektor EBTKE 2023 dan Program 2024: Diversifikasi Produk BBN dan Peningkatan Kapasitas Pembangkit EBT, Siaran Pers, Nomor: 62.Pers/04/SJI/2024, *Direktorat Jenderal EBTKE*.
- Meng, Y., Liu, G. & Li, M., 2015, *Tracing The Sources and Processes of Groundwater in An Alpine Glaciated Region in Southwest China: Evidence from Environmental Isotopes*. *Water* 7, 2673–2690. <https://doi.org/10.3390/w7062673>
- Mizutani, Y. & Rafter, T.A, 1969, *Oxygen Isotopic Fractionation in Bisulphate Ion-Water System*, N.Z.J., Sci. 12 (54).
- Prada, S., Cruz, J.V., & Figueira, C., 2016, *Using Stable Isotopes To Characterize Groundwater Recharge Sources In The Volcanic Island Of Madeira, Portugal*, *Journal of Hydrology*.536, 409–425. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.03.009>
- Pusat Sumber Daya Mineral Batubara Panas Bumi, 2022, *Peta Potensi dan Distribusi Panas Bumi Indonesia*.
- PSDG, 2004, *Laporan Geologi, Geokimia dan Geofisika Terpadu Kawasan Panas Bumi Danau Ranau, Kabupaten Lampung Barat, Lampung – OKU Selatan, Sumatera Selatan*, Perpustakaan Subdirektorat Panas Bumi.
- Rera, G.F, 2020, Studi *Pre-Feasibility* untuk Lapangan Geothermal Entalpi Medium pada Studi Kasus Lapangan Danau Ranau, Indonesia, *Tesis*, Program Studi Magister Geothermal, Institut Teknologi Bandung.
- Saptadji, N.M., 2009, *Karakteristik Reservoir Panas Bumi*, Training Advanced Geothermal Reservoir Engineering, 6-7 Juli, Bandung, Indonesia.
- Satrio, Prasetyo, R. & Sidauruk, P., 2020, *Karakteristik Isotop <sup>18</sup>O dan <sup>2</sup>H dari Beberapa Mataair Panas di Jawa Barat*, *Jurnal Riset Geologi dan Pertambangan*, Vol. 30, No.2, 229-240.
- Wioso, Y.B., Wulandari, Z. & Farhansyah, D., 2022, *Analyze Characteristic and Potential of Geothermal Energy in Danau Ranau, South Sumatera, Indonesia*, Proceedings PIT IAGI 51st, Makassar, South Sulawesi.



**KARAKTERISASI BATUAN INDUK HIDROKARBON DAN RESERVOAR NONKONVENTIONAL DI CEKUNGAN JAWA TIMUR BAGIAN UTARA****CHARACTERIZATION OF HYDROCARBON SOURCE ROCKS AND UNCONVENTIONAL RESERVOIR IN THE NORTHERN EAST JAVA BASIN****Feby Airlangga<sup>1</sup>, Handoyo Handoyo<sup>1</sup>, Selvi Misnia Irawati<sup>1</sup>, dan Andy Setyo Wibowo<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia<sup>2</sup>Pusat Survei Geologi Bandung, Jawa Barat, Indonesia

Email korespondensi: handoyo.geoph@tg.itera.ac.id

Diterima: 11 Oktober 2023; Direvisi: 7 Maret 2024; Disetujui: 25 November 2024

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.435>**ABSTRAK**

Cekungan Jawa Timur bagian utara merupakan salah satu cekungan penghasil hidrokarbon di Indonesia dengan lapisan batuan induk yang tebal dan menarik untuk dipelajari sebagai potensi reservoir nonkonvensional di masa mendatang. Integrasi analisis data sumur dan inversi seismik digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan induk dalam penelitian ini. Analisis data sumur dapat memberikan informasi litologi pada formasi pembawa batuan induk hidrokarbon, yaitu serpih Formasi Prupuh, serpih Formasi Kranji, dan batugamping Formasi Ngimbang. Data log juga dapat memberikan informasi prediksi nilai *Brittleness Index* (BI) dan *Total Organic Carbon* (TOC) di zona target. Regresi linier digunakan untuk menyebarkan BI, porositas, dan TOC pada data seismik. Untuk membantu proses penyebaran nilai TOC dan BI pada parameter seismik, inversi *Acoustic Impedance* (AI) dilakukan dengan menggunakan metode *model based hard constraint* untuk memprediksi distribusi AI. Hasil studi ini menunjukkan bahwa zona target merupakan zona potensial dengan kategori menengah hingga potensial dari distribusi TOC 1,5%-2,2%, BI 0,2-0,46, dan porositas 0,03-0,15. Data inversi seismik juga membantu penyebaran parameter petrofisika pada kondisi lateral yang baik mengikuti persebaran horizon batuan induk serpih.

**Kata kunci:** TOC, BI, porositas, serpih, inversi**ABSTRACT**

The northern East Java Basin is one of the hydrocarbon producing basins in Indonesia with a thick source rock layer and is interesting to study as a potential unconventional reservoir in the future. In this research, integration of well data analysis and seismic inversion is used to identify the characteristics of the source rock in the studied area. Well data analysis can provide lithological information from the source rocks bearing formations, namely shale of the Prupuh Formation, dominant shale of the Kranji Formation, and limestone of the Ngimbang Formation. In addition, log data can provide information on predicting Brittleness Index (BI) and Total Organic Carbon (TOC) values in the target zone. The linear regression is used to propagate BI, porosity, and TOC on the seismic data. To assist the process of distributing TOC and BI values on seismic parameters, Acoustic Impedance (AI) inversion was carried out by using a

*model based hard constraint method to predict the AI distribution. The results of this study show that the target zone is a potential zone with a medium to potential category with a TOC distribution of 1.5%-2.2%, BI of 0.2-0.46, and porosity of 0.03-0.15. Moreover, seismic inversion data also helps the distribution of petrophysical parameters in good lateral conditions following the distribution of shale source rock horizons.*

**Keywords:** TOC, BI, porosity, shale, inversion

## PENDAHULUAN

Indonesia sebagai salah satu negara penghasil minyak dan gas bumi terbesar di Asia Tenggara, memiliki banyak cekungan minyak dan gas bumi, termasuk cekungan Jawa Timur bagian utara yang memiliki potensi minyak dan gas bumi sebagai penghasil devisa bagi negara (Panjaitan, 2010; Nuryanto & Santosa, 2014). Dewasa ini, pemerintah telah memprakarsai studi terkait potensi serpih batuan induk pada lapangan-lapangan yang telah aktif berproduksi. Tujuannya adalah untuk mendapatkan potensi reservoir nonkonvensional serpih batuan induk.

Pada evaluasi batuan induk yang potensial sebagai reservoir nonkonvensional, beberapa kriteria harus dipenuhi seperti ketebalan  $>100$  kaki (Gahana, 2019), kandungan *Total Organic Carbon* (TOC) tinggi (2%-10%), *Brittleness Index* (BI) 0.2-0.8, nilai *Acoustic Impedance* (AI) berada di antara 3.000-15.000 [(m/s)(gr/cc)], dan porositas berkisar antara 0.05-0.4 (Bello, 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi serpih batuan induk Formasi Prupuh, Kranji, dan Ngimbang di Cekungan Jawa Timur bagian utara. Hasil penelitian diharapkan dapat berkontribusi secara signifikan terhadap pemahaman tentang potensi sumber daya energi di wilayah ini. Untuk mendapatkan karakteristik serpih batuan induk pada zona target dilakukan integrasi analisis data sumur dan data seismik. Parameter petrofisika seperti porositas, TOC, dan BI dapat dihitung menggunakan data log (Fertl & Chilingar,

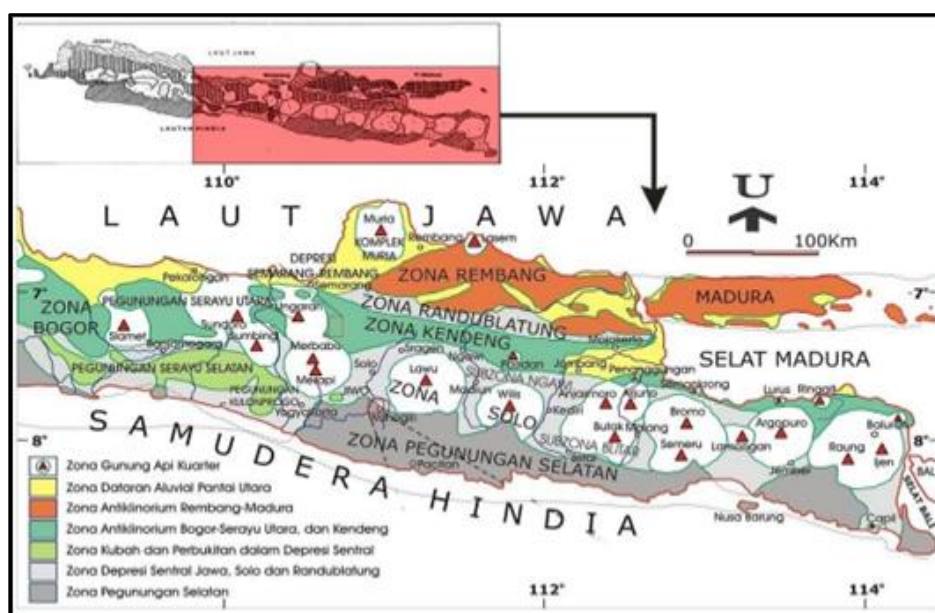
1988; Charsky & Herron, 2013; Mahmoud dkk., 2017), sedangkan data seismik inversi dapat digunakan untuk membuat penampang parameter-parameter fisis tersebut secara 2-dimensi. Dengan metode integrasi tersebut, diharapkan dapat meningkatkan produksi migas dan berkontribusi dalam mendukung ketahanan energi di Indonesia.

## GEOLOGI

Penelitian ini difokuskan di Cekungan Jawa Timur bagian utara (Gambar 1) (Pringgoprawiro, 1983; Panjaitan, 2010). Cekungan ini merupakan salah satu cekungan Tersier di Indonesia bagian barat yang kaya akan sumber daya minyak dan gas alam (Anbazhagan, 2021).

Batuan induk hidrokarbon utama di cekungan ini berasal dari serpih karbonatan pada Formasi Ngimbang, yang terbentuk di lingkungan marginal laut, delta, dan danau dengan tipe kerogen II dan III. Serpih laut dalam di bagian bawah Formasi Kujung juga berpotensi sebagai batuan induk (Bintarto, 2020).

Lokasi penelitian berada di Zona Rembang, suatu wilayah yang menarik dan penting untuk dipelajari secara stratigrafi dalam mengungkap sejarah geologis yang panjang dan kompleks. Zona Rembang ini telah diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok formasi yang berbeda (Gambar 2), dan setiap formasi memiliki rincian karakteristik yang khas, sebagaimana tercatat dalam penelitian sebelumnya (Pringgoprawiro, 1983).



**Gambar 1.** Geologi Regional Cekungan Jawa Timur  
(diadaptasi dari Pringgoprawiro, 1983; Panjaitan, 2010)

WAKTU DLM. JUTAAN TAHUN	KLAS HURUF Komp. Von Gersel 1988	ZONASI BLOW (1989)	SATUAN KRONO STRATIGRAFI		PRINGGOPRAWIRO & SUKIDO (1992)	
			PLISTOSEN	LIDAH	FORMASI DAN DER	ANGGOTA
1,65	Tgh	N . 23 N . 22	PLIOSEN	ATAS	SLR MUNDU PACIRAN	.
5,2		N . 21 N . 20 N . 19 N . 18	PLIOSEN			.
10,2	Tf . 3	N . 17 N . 16 N . 15 N . 14	NEOGEN	ATAS	LEDOK	.
16,2	Tf . 1 - 2	N . 13 N . 12 N . 11 N . 10 N . 9 N . 8 N . 7 N . 6 N . 5	NEOGEN	BAWAH	WONO-COLO BULU NGRAYONG TAWUN	.
25,2	Te . 5	N . 4 N . 3 P . 21 P . 2	NEOGEN	ATAS	TUBAN	.
36	Td	P . 20 P . 19	OLOGOSEN	BAWAH	PRUPUH	.
39,4	Tc	P . 18	PALEO- GEN	ATAS	KUJUNG	.
49	Tb	P . 17 P . 16 P . 15	EOSSEN	BAWAH	NGIMBANG	.
54	Ta	P . 14 P . 10 P . 9 P . 8 P . 7 P . 6 P . 4 P . 3 P . 2 P . 1	PALEO- SEN	ATAS BAWAH	BASEMENT	.
60,2						
66,5						
		PRA TERSIER				

**Gambar 2.** Stratigrafi Regional Cekungan Jawa Timur Zona Rembang  
(Pringgoprawiro, 1983)

Kelompok Tuban, pertama terdiri dari Formasi Tawun yang terdiri dari batulempung dan napal dengan interkalasi batugamping dan batupasir yang seringkali mengandung hidrokarbon. Di Kawengan, bagian atas Formasi Intra Tawun diwakili oleh batugamping reservoir dengan ketebalan sekitar 100 meter. Bagian bawah formasi ini dilaporkan bertekanan abnormal dan di beberapa tempat membentuk diapir, struktur aliran serpih (*shale flowage*) dan *mud volcano*. Formasi Tawun berumur Miosen Bawah dan diendapkan pada lingkungan neritik sampai laut dalam.

Formasi kedua dari Kelompok Tuban adalah Formasi Ngrayong yang merupakan penghasil minyak utama di daerah Jawa Tengah dan Jawa Timur. Formasi Ngrayong diperkirakan berumur Miosen Tengah dan diendapkan dalam lingkungan delta dan tepi pantai di bagian atas, sampai lingkungan laut dangkal di bagian bawah. Formasi Ngrayong bagian atas terdiri dari selang-seling batupasir gampingan dan batulempung, dengan sisipan batugamping dan sisipan batubara tipis, sedang bagian bawah didominasi oleh lempung dan lanau dengan sisipan batupasir gampingan dan sisipan tipis batugamping.

Selanjutnya, Kelompok Kawengan yang terdiri dari dua formasi. Pertama adalah Formasi Wonocolo yang merupakan salah satu penghasil migas yang penting setelah Formasi Ngrayong. Pada umumnya Formasi Wonocolo terdiri dari batulempung dan napal dengan sisipan batupasir gampingan atau batugamping klastik dengan total ketebalan sekitar 550 meter. Makin ke bawah batupasir dan batugamping klastik makin berkembang dan makin tebal. Di beberapa tempat batugamping klastik berkembang dengan baik dan membentuk Anggota Bulu yang sebelumnya disebut Kompleks Platen. Interval Wonocolo yang berpori pada umumnya sering mengandung hidrokarbon. Formasi Wonocolo merupakan endapan laut dangkal pada bagian bawah yang berangsur-angsur berubah menjadi endapan laut dalam di bagian atas.

Kemudian, formasi kedua dari Kelompok Kawengan adalah Formasi Ledok yang terdiri dari batugamping pasiran, batupasir gampingan, lanau dan makin ke bawah berubah menjadi batulempung. Batugamping pasirannya berwarna coklat muda, keras, glaukonitan, mengandung butir kuarsa dan merupakan batugamping klastik. Batupasir gampingan berwarna jernih sampai abu-abu muda, berbutir halus sampai sangat halus, sedikit membundar, terpisah sedang, glaukonitan. Batulanau Formasi Ledok berwarna abu-abu, sedikit keras, sedikit gampingan dan glaukonitan yang makin ke bawah berubah menjadi batulempung berwarna abu-abu sampai abu-abu muda, gampingan dan mengandung fosil foraminifera.

## METODOLOGI

Data utama yang digunakan dalam penelitian ini berupa data well AISH-1 dan data seismik *line section* AISH-1 yang diperoleh atas izin Pusat Survei Geologi. Prosedur pada penelitian ini terdiri dari 2 jenis sebagai berikut:

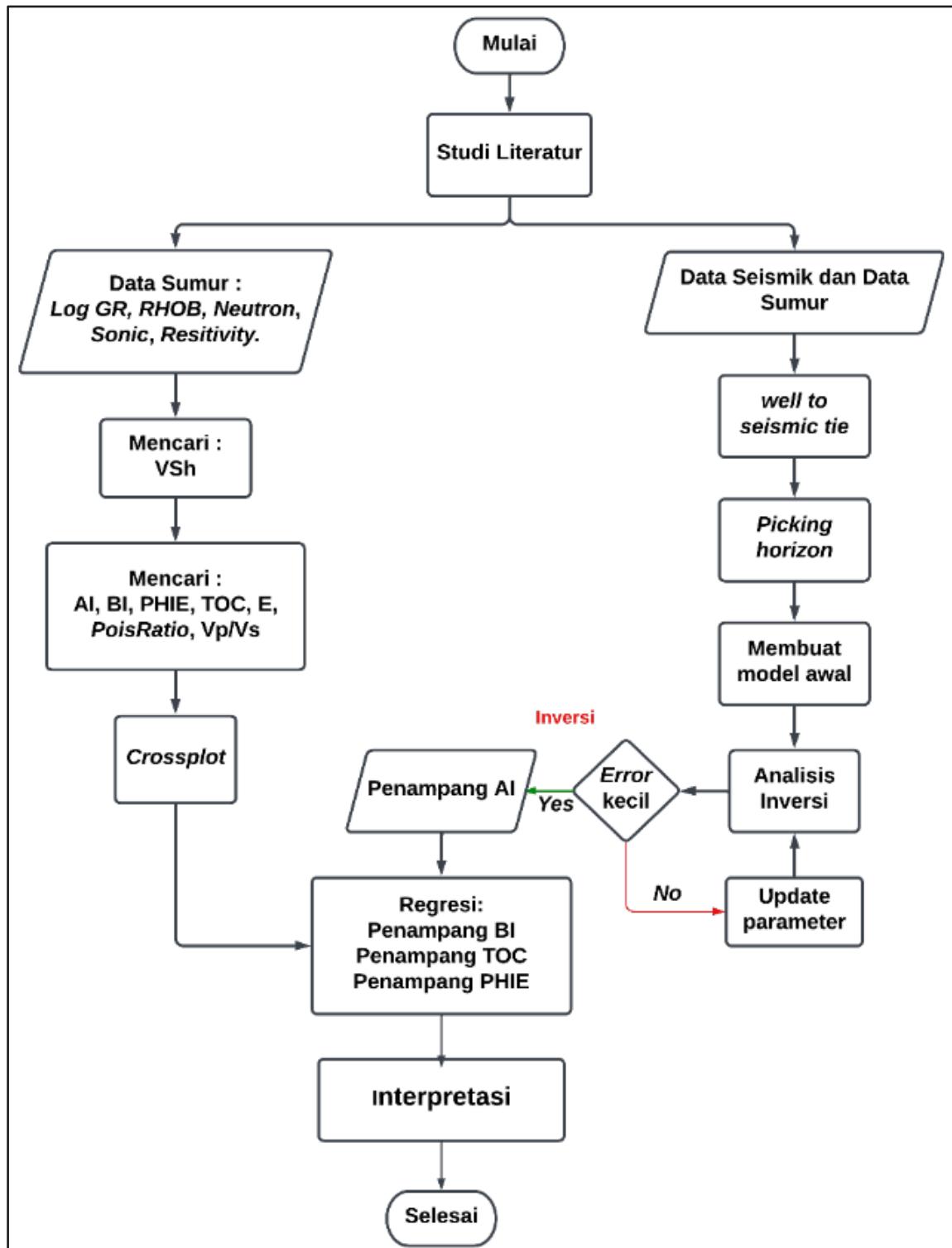
**Analisis data log:** melakukan perhitungan untuk mendapatkan log estimasi penentuan zona target, prediksi parameter fisis (porositas, TOC, dan BI) dan melakukan *crossplot* antara AI dan parameter fisis untuk mendapatkan persamaan garis regresi.

**Seismik inversi:** inversi AI pada data seismik selanjutnya digunakan untuk mendapatkan penampang BI, PHIE, dan TOC menggunakan korelasi persamaan regresi hasil *crossplot* log.

Integrasi data log dan seismik inversi terangkum dalam alur penelitian seperti yang terlihat pada Gambar 3. Untuk prediksi nilai TOC, digunakan persamaan yang melibatkan parameter resistivitas dan *sonic* dari data log dan *level of maturity* (LOM) (Kamali & Mirshady, 2004; Wang dkk., 2020; Green & Vernik, 2021). Sementara, untuk nilai BI dihitung dengan menggunakan parameter kecepatan Vp dan Vs dari data log dengan menggunakan

pendekatan metode dinamis (gelombang seismik) (Gogoi & Chatterjee, 2020; Wood, 2021; Meng dkk., 2021). Porositas batuan induk dihitung dari hasil nilai log NPHI yang telah dikoreksi (Valentín dkk., 2018; Ruiz dkk., 2021; Tian dkk., 2022). Metode inversi

digunakan untuk menyebarkan parameter fisik pada data seismik. Metode model based digunakan pada penelitian ini sebagai metode yang telah lazim digunakan dalam proses seismik inversi (Zhang dkk., 2015; Lu dkk., 2019; Cyz & Azevedo, 2020).



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

#### Analisis Data Log

Berdasarkan analisis data log yang telah diproses, ditemukan bahwa nilai reflektan vitrinit ( $Ro$ ) pada kedalaman antara 225 m hingga 1218 m berkisar antara 0,39% hingga 0,45%. Rentang nilai ini dapat diartikan sebagai tingkat kematangan batuan pada kedalaman tersebut, yang secara kuantitatif mengindikasikan tingkat kematangan sebesar 6 hingga 8 dalam skala yang sesuai.

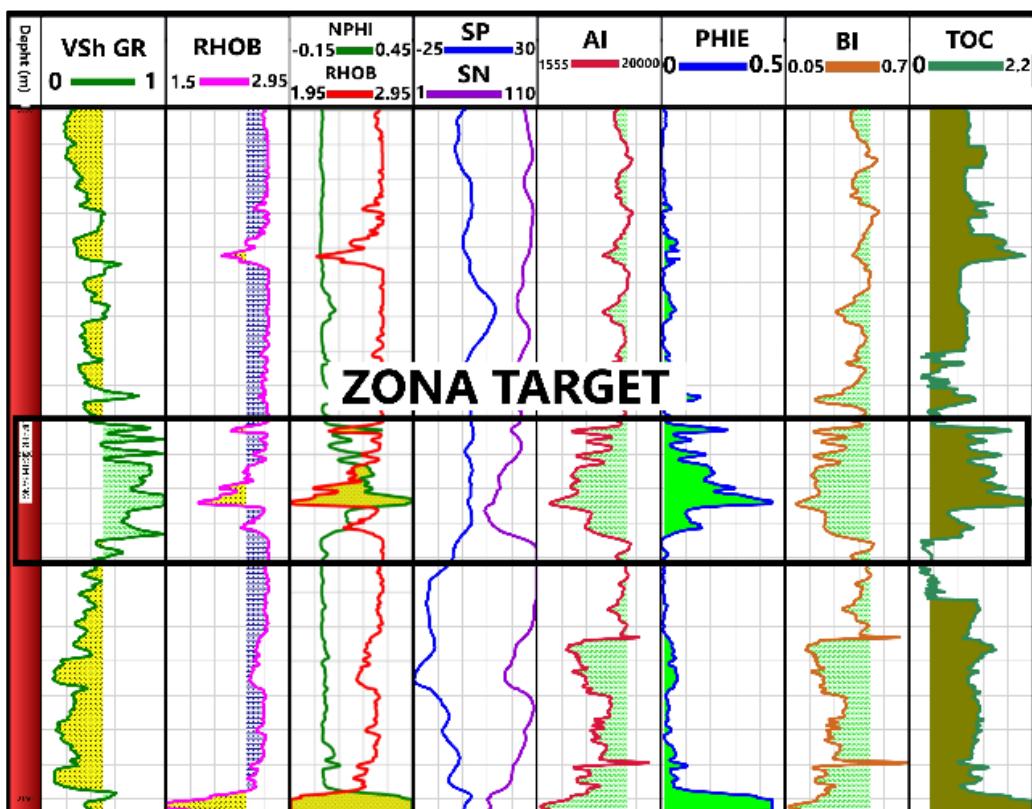
Zona target yang merupakan reservoir nonkonvensional dapat dilihat pada Gambar 4. Pada kedalaman 2090-2120 m, diperoleh nilai AI berkisar 3600-12500 [(m/s) (gr/cc)], porositas NPHI 0,1-0,45 atau setara dengan nilai porositas 0,03-0,15 (setelah dilakukan koreksi), nilai BI (*brittleness index*) 0,2-0,46, dan nilai TOC 1,5%-2,2%.

Korelasi yang digunakan untuk memprediksi kandungan TOC berdasarkan nilai densitas

batuan (RHOB: Rho Bulk) merupakan sebuah persamaan yang digunakan untuk estimasi TOC dalam bentuk persentase volume. Estimasi ini nantinya dapat dikonversi menjadi persentase berat sesuai dengan kebutuhan. Dengan menggunakan persamaan ini, kita dapat melakukan prediksi TOC berdasarkan nilai RHOB yang ada, dan kemudian hasil prediksi tersebut dapat diubah menjadi persentase berat sesuai dengan keperluan analisis.

$$TOC \text{ (vol. \%)} = \frac{(\rho_b - \rho)}{1.378} \quad (1)$$

Dalam persamaan di atas, simbol  $\rho_b$  dan  $\rho$  digunakan untuk mewakili massa jenis batuan bebas bahan organik (dalam satuan  $\text{g/cm}^3$ ) dan massa jenis batuan keseluruhan (dalam satuan  $\text{g/cm}^3$ ). Dengan menggunakan kedua nilai massa jenis ini dalam persamaan, dapat dihitung dan diperkirakan kandungan TOC dalam persentase volume berdasarkan hubungan antara massa jenis batuan dan TOC.



Gambar 4. Identifikasi zona target berdasarkan analisis data log

Variabel yang digunakan dalam analisis disusun dalam *crossplot* (Gambar 5), meliputi variabel AI dan BI, AI dan TOC, serta BI dan PHIE (PHI: PHI Effective). Hasil *crossplot* tersebut menunjukkan bahwa terdapat tingkat determinasi yang signifikan yang mengindikasikan hubungan garis yang kuat dalam bentuk regresi linier antara variabel-variabel tersebut. Persamaan garis regresi untuk masing-masing hubungan ini telah dihasilkan dan dapat ditemukan dalam Tabel 1. Hal ini menggambarkan bahwa ada hubungan yang kuat yang dapat dijelaskan secara matematis antara variabel AI, BI, TOC, dan PHIE.

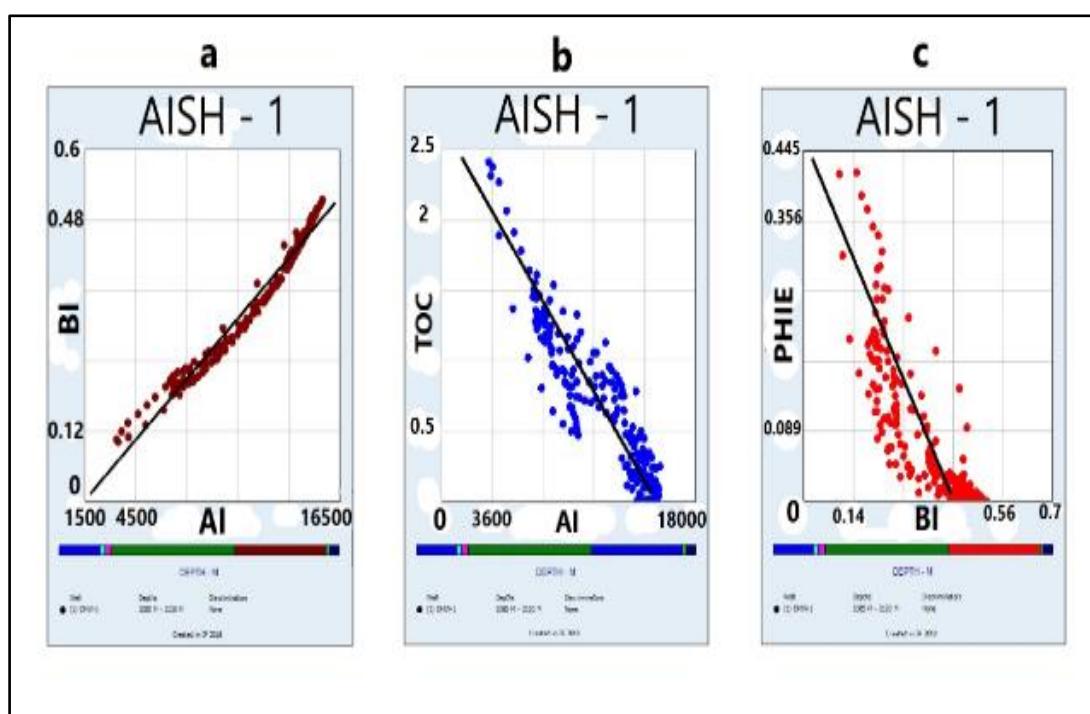
### Seismik Inversi

*Tuning thickness* yang diperoleh bernilai 42 m. Berfungsi untuk menentukan ketebalan zona target yang dapat di resolusi dengan baik oleh *wavelet* secara teoritis, dengan memperhitungkan kecepatan interval

antara horizon-horizon target analisis data sumur dan seismik.

Analisis data *wavelet* memperoleh nilai korelasi data sintetik rata-rata 0,982595 dengan Error 0,190668. Parameter ini digunakan dalam inversi model based yang kemudian mendapatkan Penampang AI (Gambar 6 dan Gambar 7).

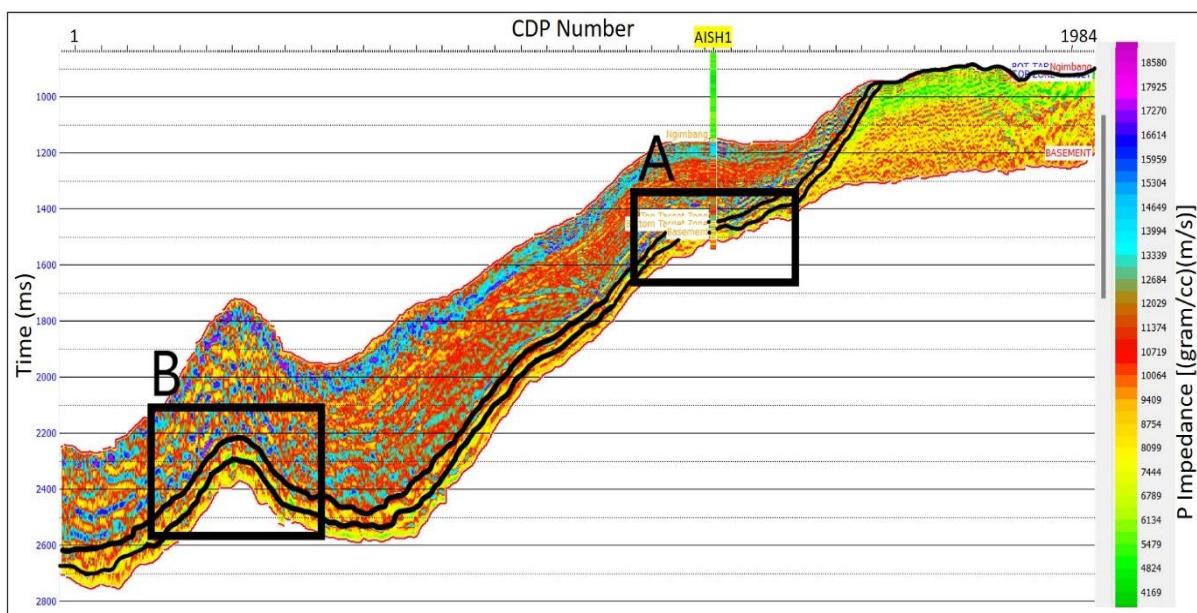
*Picking Horizon* melibatkan identifikasi batas lapisan batuan menonjol pada zona target, mencerminkan perubahan kontras dalam citra seismik, termasuk perubahan amplitudo, kecerahan, atau pola struktur. Lebih dari itu, pemilihan zona A dan B didasarkan pada geometri (bentuk) dari horizon yang membentuk struktur antiklin yang merupakan salah satu jenis jebakan hidrokarbon, oleh karena itu, zona A dan B dianggap sebagai zona menarik untuk dilakukan karakterisasi.



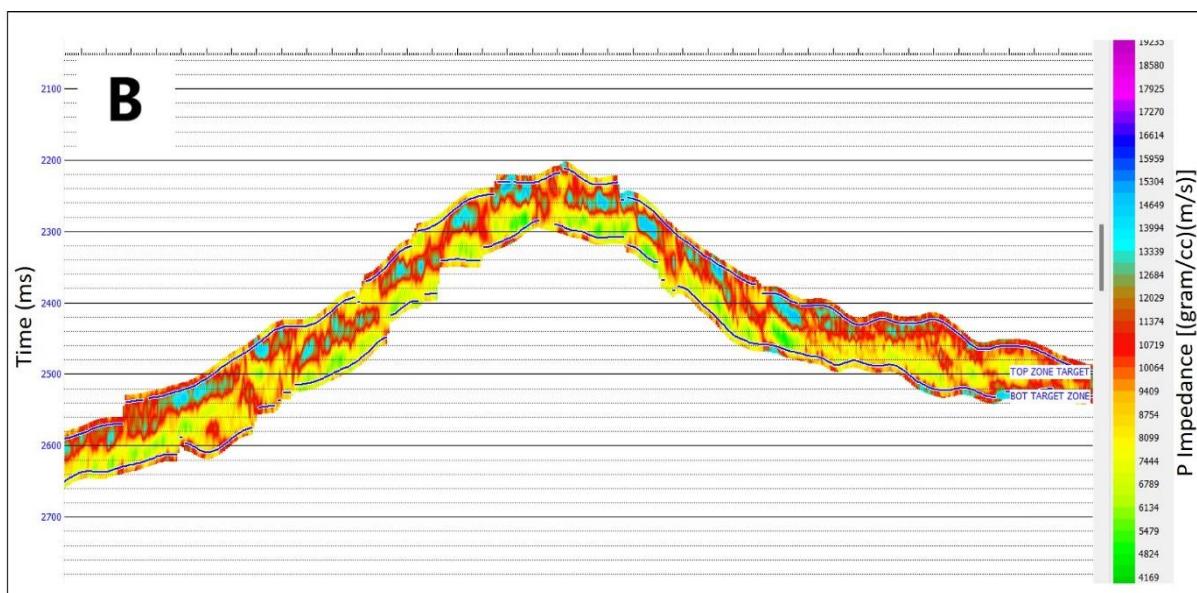
Gambar 5. a. *Crossplot* AI dan BI, b. *Crossplot* AI dan TOC, c. *Crossplot* BI dan PHIE

Tabel 1. Persamaan garis regresi

NO	Crossplot	Persamaan Garis
1	AI dan BI	$BI = -0,049745 + (3,45521 \times 10^{-5}) * AI$
2	AI dan TOC	$TOC = 2.86185 - 0.00016812 * AI$
3	BI dan PHIE	$PHIE = 0.35067 - 0.76967 * BI$



**Gambar 6.** Penampang Seismik Inversi AI



**Gambar 7.** Penampang Seismik Inversi AI bagian B

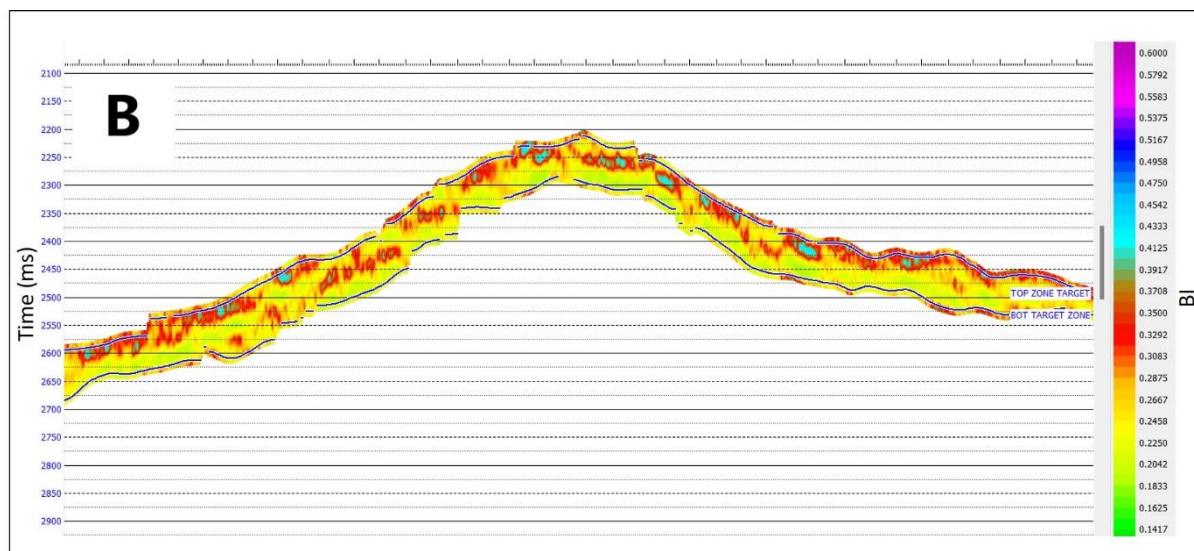
Setelah proses inversi dilakukan, persamaan garis regresi yang dihasilkan dari crossplot akan menjadi alat utama untuk mengonversi data penampang AI menjadi penampang BI, PHIE, dan TOC (Gambar-gambar 8, 9, dan 10). Dalam konteks ini, persamaan regresi digunakan sebagai alat untuk memperkirakan nilai-nilai BI, PHIE, dan TOC pada titik-titik yang tidak memiliki data langsung, tetapi dapat diestimasi dengan memanfaatkan hubungan matematis yang kuat yang telah

diidentifikasi melalui crossplot sebelumnya.

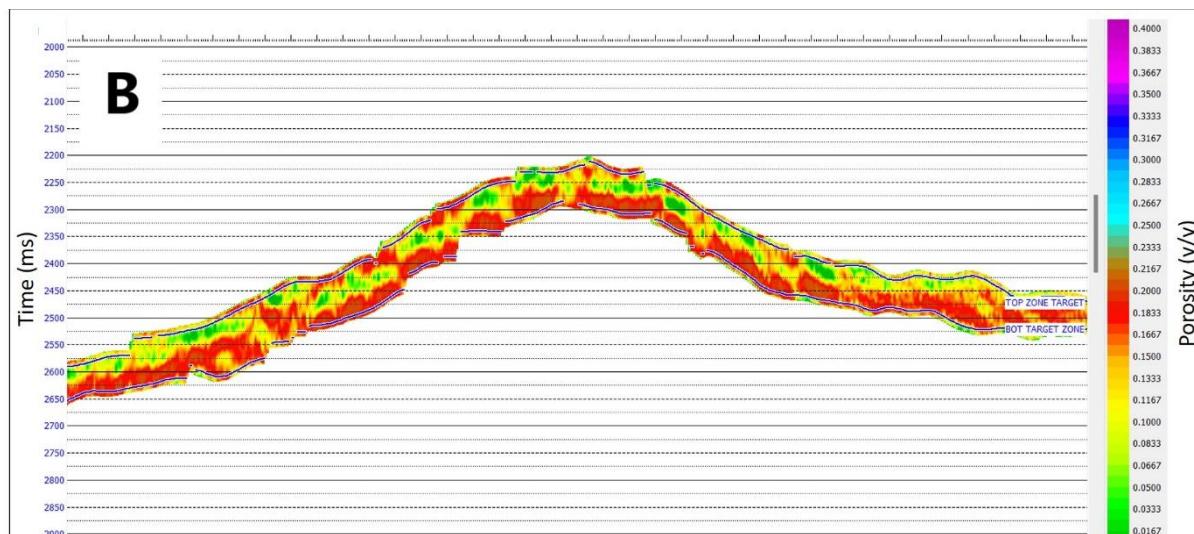
Secara umum, sebaran nilai BI 0,2-0,46 yang merupakan zona *brittle* tersebar di hampir seluruh lapisan zona *interest* dan berada di bagian *top* dari horizon (warna merah) (Gambar 8). Secara geologis, lapisan atas suatu horizon umumnya lebih muda dari lapisan serpih di bawahnya, sehingga lebih mudah untuk mengalami *fracturing* karena bersifat *brittle* (Zhang dkk., 2016; Lu dkk., 2022).

Sebaran porositas dengan nilai menengah hingga baik (lebih dari 10%) tersebar dengan baik di seluruh lapisan zona *interest* dan berada di bagian *top* dari horizon (Gambar 9). Terdapat korelasi yang baik antara *brittleness* dengan porositas, dengan nilai porositas dapat meningkat pada zona *brittle* dikarenakan porositas sekunder yang hadir dari proses *fracturing* di zona getas (Guo dkk., 2013; Zhishui & Zandong, 2015). Pada data ini, nilai porositas tinggi tersebar dengan baik di bagian tengah horizon, namun masih memungkinkan untuk menambah nilai porositas pada zona *brittle* di atasnya.

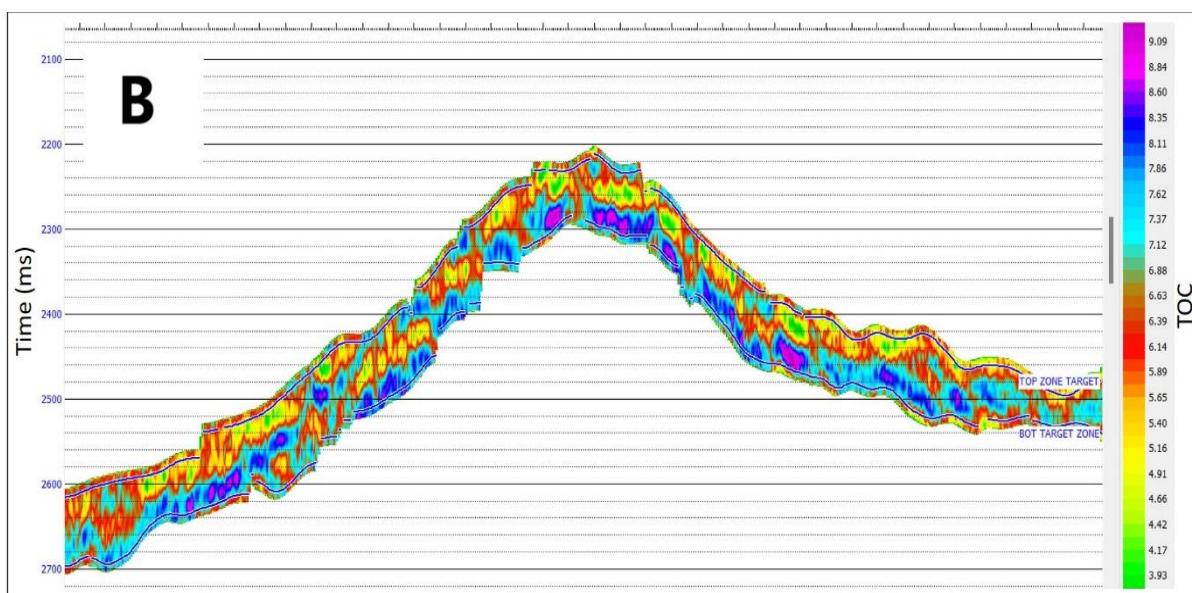
Sebaran TOC dengan nilai menengah hingga baik (1,5%-2,2%) juga relatif tersebar dengan baik di seluruh lapisan zona *interest* dan berada di bagian *top* dari horizon (warna kuning hingga merah) (Gambar 10). Hasil analisis menunjukkan pada lokasi ini juga merupakan zona *brittle* dan memiliki TOC yang baik, sehingga menjadi lokasi yang menarik untuk dijadikan target penelitian selanjutnya. Penelitian-penelitian sebelumnya telah mengonfirmasi adanya keterkaitan antara nilai TOC dan BI, dengan daerah yang *brittle* secara umum juga memiliki nilai TOC yang menengah hingga ke tinggi (Yasin dkk., 2017; Dubey dkk., 2019).



Gambar 8. Penampang sebaran BI bagian B dari hasil inversi



Gambar 9. Penampang sebaran PHIE bagian B yang didapatkan dari hasil inversi



**Gambar 10.** Penampang penyebaran secara lateral nilai TOC bagian B

## PEMBAHASAN

Hasil analisis data log menunjukkan zona target pada kedalaman 2090-2120 m. Nilai AI (3600-12500 [(m/s)(gr/cc)]) mengindikasikan variasi elastisitas dan densitas batuan serpih. Rentang porositas (0,03-0,15) menunjukkan adanya ruang pori dalam batuan cukup besar untuk batuan serpih (Li dkk., 2011; Sheng dkk., 2019; Memon dkk., 2020). Nilai BI (0,2-0,46) menggambarkan tingkat *brittleness* batuan, yang menandakan potensi jalur migrasi hidrokarbon ketika batuan memiliki sifat mudah pecah atau getas (Yang dkk., 2021; Ye dkk., 2022). Selain itu, nilai TOC (1,5%-2,2%) mengindikasikan potensi kandungan bahan organik sebagai sumber hidrokarbon dalam reservoir serpih nonkonvensional (Sohail dkk., 2020; Zhang dkk., 2022).

Analisis seismik inversi pada zona target menunjukkan korelasi kuat antara BI, TOC, dan porositas efektif terhadap sebaran 2D AI pada lapisan batuan induk di Cekungan Jawa Timur bagian utara. Regresi penampang BI, PHIE, dan TOC berdasarkan crossplot AI menunjukkan kesesuaian nilai parameter-parameter tersebut pada sumur dengan sebaran AI pada penampang seismik. Ini mengindikasikan karakteristik serpih sebagai reservoir nonkonvensional dengan

potensi yang signifikan (Qiang dkk., 2020; Yasin dkk., 2020; Anees dkk., 2022).

## KESIMPULAN

Simpulan dari analisis Cekungan Jawa Timur bagian utara menyatakan bahwa lapisan batuan induk terdiri dari serpih, batugamping, *and permeable sand*. Pada kedalaman sumur 2090-2120 m, terdapat potensi reservoir hidrokarbon yang signifikan dengan nilai porositas 0,03-0,15, TOC 1,5%-2,2% dan nilai BI 0,2-0,46. Batuan induk serpih memiliki sebaran nilai porositas, TOC, dan BI yang baik secara perlapisan bersesuaian dengan distribusi nilai AI secara lateral.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyelesaian penelitian ini. Terima kasih kepada Pusat Survei Geologi Bandung yang telah memberikan izin untuk penggunaan data pada penelitian ini. Penghargaan khusus dan ucapan terima kasih kami sampaikan kepada rekan-rekan yang telah memberikan masukan berharga dan dukungan selama proses penelitian.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anbazhagan, P., 2021. Seismic Site Characterization of Chennai City, India Using Ambient Vibration and Seismic Refraction Survey. *Journal of the Geological Society of India*, 97(5), p.575-582.
- Anees, A., Zhang, H., Ashraf, U., Wang, R., Thanh, H. V., Radwan, A. E. & Shi, W., 2022. Sand-ratio distribution in an unconventional tight sandstone reservoir of Hangjinqi area, Ordos Basin: Acoustic impedance inversion-based reservoir quality prediction. *Frontiers in Earth Science*, 10, 1018105.
- Bello, O. A., 2021. Petroleum System and Evaluation of the Hydrocarbon Potential of the Eastern Dahomey Basin, Nigeria.. *Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels*, 12(3), p. 25-43.
- Bintarto, 2020. Pemetaan Singkapan Di Indonesia Berdasarkan Pada Karakteristik Reservoir Migas Studi Kasus Cekungan Jawa Timur Utara. Yogyakarta: Fakultas Teknologi Mineral, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran".
- Charsky, A. & Herron, S., 2013. Accurate, direct total organic carbon (TOC) log from a new advanced geochemical spectroscopy tool: Comparison with conventional approaches for TOC estimation. *Search and Discovery*, 41162(1), p.1-17.
- Cyz, M. & Azevedo, L., 2020. Direct geostatistical seismic amplitude versus angle inversion for shale rock properties. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(6), p.5335-5344.
- Dubey, A., Mohamed, M. I., Salah, M. & Algarhy, A., 2019. Evaluation of the rock brittleness and total organic carbon of organic shale using triple combo. In SPWLA Annual Logging Symposium (p. D043S009R001). SPWLA.
- Fertl, W. H. & Chilingar, G. V., 1988. Total organic carbon content determined from well logs. *SPE formation evaluation*, 3(02), p.407-419.
- Gahana, A. G., 2019. Karakterisasi Reservoir Menggunakan Analisis Petrofisika Pada Lapangan Y Formasi Talang Akar Cekungan Sumatera Selatan. *Geoscience Journal* 3.1, h.29-37.
- Gogoi, T. & Chatterjee, R., 2020. Multimineral modeling and estimation of brittleness index of Shaly sandstone in Upper Assam and Mizoram areas, India. *SPE Reservoir Evaluation & Engineering*, 23(02), p.708-721.
- Green, S. & Vernik, L., 2021. Correcting density/sonic logs for total organic carbon to reduce uncertainty in pore pressure prediction. *Geophysical Prospecting*, 69(3), p.586-597.
- Guo, Z., Li, X. Y., Liu, C., Feng, X. & Shen, Y., 2013. A shale rock physics model for analysis of brittleness index, mineralogy and porosity in the Barnett Shale. *Journal of Geophysics and Engineering*, 10(2), 025006.
- Kamali, M. R. & Mirshady, A. A., 2004. Total organic carbon content determined from well logs using  $\Delta\text{LogR}$  and Neuro Fuzzy techniques. *Journal of petroleum Science and Engineering*, 45(3-4), p.141-148.
- Li, J., Du, C. M. & Zhang, X., 2011. Critical evaluation of shale gas reservoir simulation approaches: Single-porosity and dual-porosity modeling. In SPE middle east unconventional gas conference and exhibition. OnePetro.
- Lu, M., Cao, H., Sun, W., Yan, X., Yang, Z., Xu, Y. & Ouyang, M., 2019. Quantitative prediction of seismic rock physics of hybrid tight oil reservoirs of the Permian Lucaogou Formation, Junggar Basin, Northwest China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 178, p.216-223.
- Lu, C., Ma, L., Guo, J., Li, X., Zheng, Y., Ren, Y. & Yang, B., 2022. Novel method and case study of a deep shale fracability evaluation based on the brittleness index. *Energy*

- Exploration & Exploitation, 40(1), p.442-459.
- Mahmoud, A.A.A., Elkataatny, S., Mahmoud, M., Abouelresh, M., Abdulraheem, A. & Ali, A., 2017. Determination of the total organic carbon (TOC) based on conventional well logs using artificial neural network. International Journal of Coal Geology, 179, p.72-80.
- Memon, A., Li, A., Jacqueline, N., Kashif, M. & Ma, M., 2020. Study of gas sorption, stress effects and analysis of effective porosity and permeability for shale gas reservoirs. Journal of Petroleum Science and Engineering, 193, 107370.
- Meng, F., Wong, L. N. Y. & Zhou, H., 2021. Rock brittleness indices and their applications to different fields of rock engineering: A review. Journal of rock mechanics and geotechnical Engineering, 13(1), p.221-247.
- Nuryanto, A. B. & Santosa., 2014. "Evaluasi Formasi Menggunakan Data Log dan Data Core pada Lapangan "X" Cekungan Jawa Timur Bagian Utara.". *Jurnal Sains dan Seni ITS* 3.2, p.B112-B117.
- Panjaitan, S., 2010. Prospek Migas pada Cekungan Jawa Timur dengan Pengamatan Metode Gayaberat. Buletin Sumber Daya Geologi, 5(3), h.168-181.
- Pringgoprawiro, H., 1983. Biostratigraphy and Paleogeography of North East Java Basin: A New Approach. Institute of Technology Bandung.
- Purnama, D. I., 2020. Identifikasi Potensi Batuan Induk pada Formasi Santul di Sub-Cekungan Tarakan, Kalimantan Utara. *Prisma Fisika*, 8(1), p.1-4.
- Qiang, Z., Yasin, Q., Golsanami, N. & Du, Q., 2020. Prediction of reservoir quality from log-core and seismic inversion analysis with an artificial neural network: A case study from the Sawan Gas Field, Pakistan. Energies, 13(2), 486.
- Ruiz, R., Roubickova, A., Reiser, C. & Banglawala, N., 2021. Data mining and machine learning for porosity, saturation, and shear velocity prediction: recent experience and results. First Break, 39(7), p.71-76.
- Sheng, G., Javadpour, F. & Su, Y., 2019. Dynamic porosity and apparent permeability in porous organic matter of shale gas reservoirs. Fuel, 251, p.341-351.
- Sohail, G. M., Radwan, A. E. & Mahmoud, M., 2020. A review of Pakistani shales for shale gas exploration and comparison to North American shale plays. Energy Reports, 8, p.6423-6442.
- Tian, Z. Y., Guio, R., Yi, L. P. & Wang, H., 2022. The New Porosity Interpretation Models Based on Acoustic Time Log Within Larger Porosity Ranges for Bioclastic Limestone Reservoirs with High Porosity and Low Permeability, Middle East. In International Field Exploration and Development Conferencep. Singapore: Springer Nature Singapore. p.1721-1735.
- Valentín, M. B., Bom, C. R., Compan, A. L. M., Correia, M. D., de Jesus, C. M., de Lima Souza, A. & Faria, E. L., 2018. Estimation of permeability and effective porosity logs using deep autoencoders in borehole image logs from the brazilian pre-salt carbonate. Journal of Petroleum Science and Engineering, 170, p.315-330.
- Wang, X., Ma, J. F., Zhang, X. T., Wang, Z. L., Wang, F. L., Wang, H. F. & Li, L., 2020. Prediction of total organic carbon content by a generalized  $\Delta\log R$  method considering density factors: illustrated by the example of deep continental source rocks in the southwestern part of the Bozhong sag. Progress in Geophysics, 35(4), p.1471-1480.
- Wood, D. A., 2021. Brittleness index predictions from Lower Barnett Shale well-log data applying an optimized data matching algorithm at various sampling densities. Geoscience Frontiers, 12(6), 101087.
- Yang, B., Xue, L., Duan, Y. & Wang, M., 2021. Correlation study between fracability and brittleness of shale-gas reservoir. Geomechanics and

- Geophysics for Geo-Energy and Geo-Resources, 7, p.1-13.
- Yasin, Q., Du, Q., Sohail, G. M. & Ismail, A., 2017. Impact of organic contents and brittleness indices to differentiate the brittle-ductile transitional zone in shale gas reservoir. Geosciences Journal, 21, p.779-789.
- Yasin, Q., Sohail, G. M., Ding, Y., Ismail, A. & Du, Q., 2020. Estimation of petrophysical parameters from seismic inversion by combining particle swarm optimization and multilayer linear calculator. Natural Resources Research, 29, p.3291-3317.
- Ye, Y., Tang, S., Xi, Z., Jiang, D. & Duan, Y., 2022. A new method to predict brittleness index for shale gas reservoirs: Insights from well logging data. Journal of Petroleum Science and Engineering, 208, 109431.
- Zhang, B., Zhao, T., Jin, X. & Marfurt, K. J., 2015. Brittleness evaluation of resource plays by integrating petrophysical and seismic data analysis. Interpretation, 3(2), p.T81-T92.
- Zhang, D., Ranjith, P. G. & Perera, M. S. A., 2016. The brittleness indices used in rock mechanics and their application in shale hydraulic fracturing: A review. Journal of petroleum science and Engineering, 143, p.158-170.
- Zhang, K., Song, Y., Jiang, Z., Xu, D., Li, L., Yuan, X., & Chen, X., 2022. Quantitative Comparison of Genesis and Pore Structure Characteristics of Siliceous Minerals in Marine Shale With Different TOC Contents—A Case Study on the Shale of Lower Silurian Longmaxi Formation in Sichuan Basin, Southern China. Frontiers in Earth Science, 10, p.887160.
- Zhishui, L. & Zandong, S., 2015. New brittleness indexes and their application in shale/clay gas reservoir prediction. Petroleum exploration and development, 42(1), p.129-137.



**ALTERASI DAN MINERALISASI PADA DAERAH SUB-PROJECT S,  
BLOK A, PT SUMBAWA BARAT MINERAL, KABUPATEN SUMBAWA BARAT,  
PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT*****ALTERATION AND MINERALIZATION IN SUB-PROJECT S AREA, BLOCK A,  
PT SUMBAWA BARAT MINERAL, WEST SUMBAWA DISTRICT,  
WEST NUSA TENGGARA PROVINCE*****Ariel Dwiyanto N<sup>1</sup>, A. M. I. Shiddiq<sup>1</sup>, S. J. Suprapto<sup>1</sup>, Tatik Handayani<sup>2</sup>, Sahidin<sup>3</sup>**<sup>1</sup>Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia<sup>2</sup>Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia<sup>3</sup>PT Sumbawa Barat Mineral, IndonesiaEmail korespondensi: [arielnugroho125@gmail.com](mailto:arielnugroho125@gmail.com)

Diterima: 27 April 2024; Direvisi: 6 Agustus 2024; Disetujui: 30 November 2024

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.474>**ABSTRAK**

Daerah penelitian berada pada Izin Usaha Pertambangan (IUP) milik PT Sumbawa Barat Mineral yang berlokasi di Taliwang, Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat, terletak pada jalur magmatik Busur Sunda-Banda yang menunjukkan adanya potensi mineralisasi logam hasil dari aktivitas hidrotermal pada daerah penelitian, potensi mineralisasi yang tersebar pada daerah penelitian berupa tipe epitermal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alterasi, mineralisasi dan tipe deposit yang berkembang pada daerah penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa pemetaan geologi dengan metode *grid mapping* dan mengambil sampel secara *grab*, analisis XRF untuk mengetahui kandungan unsur, analisis petrografi untuk mengetahui tekstur dan struktur batuan serta mineral, analisis mineragrafi untuk mengetahui jenis mineral logam, dan analisis XRD untuk mengidentifikasi mineral alterasi lebih rinci. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya alterasi propilitik, argilik, *advanced* argilik, dan silisifikasi. Dengan mineralisasi perak, tembaga, timbal, seng, arsen, dan mangan dengan kehadiran mineral kovelit, dan *dickite*, maka tipe mineralisasi daerah penelitian adalah tipe *epithermal high sulfidation* kedalaman intermediet.

**Kata kunci:** alterasi, mineralisasi, *epithermal*, *high sulfidation***ABSTRACT**

The research area is located in the Mining Business License (IUP) owned by PT Sumbawa Barat Mineral located in Taliwang, West Sumbawa, West Nusa Tenggara, located on the Sunda-Banda Arc magmatic line which shows the potential for metal mineralization resulting from hydrothermal activity in the research area, the potential for mineralization spread in the research area is epithermal type. This research aims to determine the alteration, mineralization and type of deposit that develops in the research area. The methods used in this research are geological mapping with grid mapping method and grab sampling, XRF analysis by looking for elemental content, petrography analysis to determine the texture and

*structure of rocks and minerals, mineralogy analysis to determine the kind of metallic minerals, and XRD analysis to identify alteration minerals in more detail. The results of this research show the presence of propylitic, argillic, advanced argillic, and silicified alteration. With mineralization of silver, copper, lead, zinc, arsenic, and manganese with the presence of covellite minerals, and dickite, the mineralization type of the research area is intermediate depth high sulfidation epithermal type.*

**Keywords:** alteration, mineralization, epithermal, high sulfidation

## PENDAHULUAN

Daerah penelitian berlokasi di Kabupaten Sumbawa Barat, Provinsi Nusa Tenggara Barat dimana daerah penelitian ini berada pada Jalur metalogeni Sunda-Banda (Carlile, dan Mitchell, 1994). Jalur metalogeni Sunda-Banda terdapat potensi terbentuknya mineralisasi logam hasil aktivitas hidrotermal yang mengendapkan logam mulia dan logam dasar.

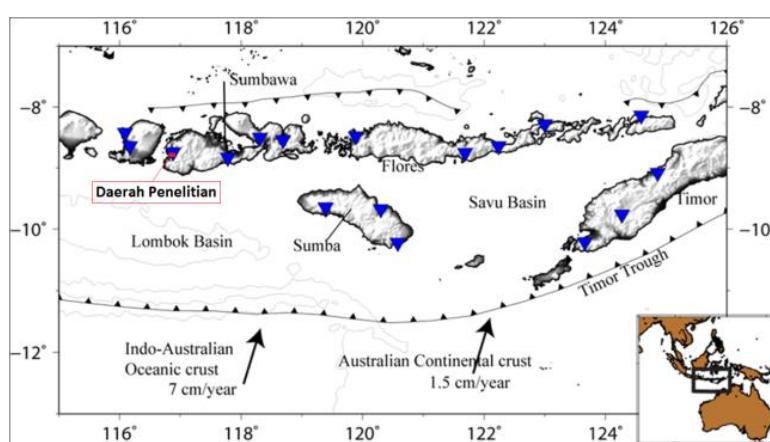
Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan adanya alterasi argilik yang kaya akan mineral lempung dan alterasi propilitik dengan mineral penciri klorit, dan epidot pada daerah penelitian (Akbar, 2023). Kehadiran alterasi tersebut dapat menunjukkan bahwa tipe mineralisasi yang berpotensi berkembang pada daerah penelitian berupa tipe mineralisasi epitermal. Untuk mendapatkan daerah prospek baru cebakan logam, perlu dilakukan eksplorasi lebih lanjut agar dapat menemukan kehadiran alterasi yang menandakan adanya mineralisasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alterasi, mineralisasi, dan tipe deposit

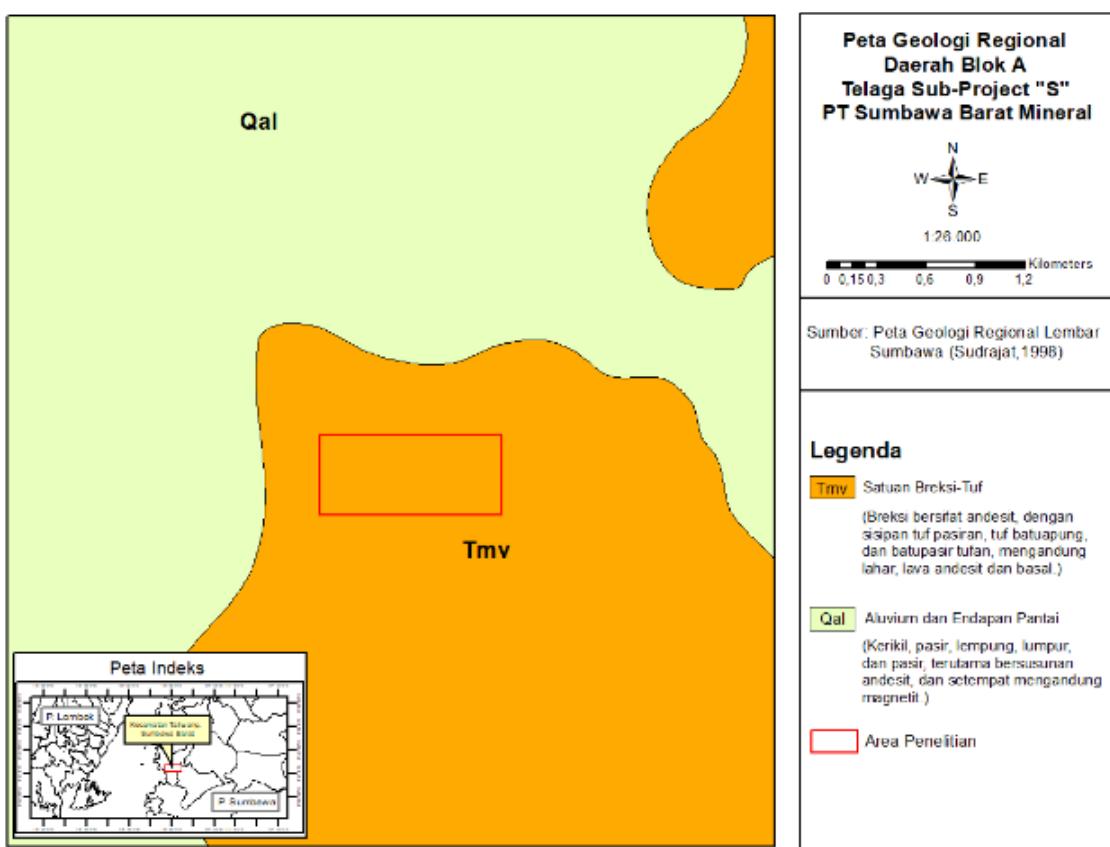
yang ada pada daerah penelitian. Hasil dari penelitian diharapkan menjadi acuan dalam melakukan tahapan eksplorasi lebih lanjut pada daerah tersebut.

## Geologi Regional

Pulau Sumbawa berada pada busur Sunda-Banda (Gambar 1) yang membentang dari daerah Aceh hingga Kepulauan Banda yang secara umum dicirikan oleh adanya jalur magmatik (Syuhada, dkk., 2016). Busur kepulauan ini dihasilkan dari tumbukan antara tiga Lempeng Australia-India, Eurasia dan Lempeng Pasifik (Hamilton, 1979). Pada peta geologi regional (Gambar 2) daerah penelitian didominasi oleh satuan breksi tuf yang berupa batuan breksi bersifat andesit, dengan sisipan tuf pasiran, tuf batuapung, dan batupasir tufan, mengandung lahar, lava andesit dan basal berusia Miosen Awal hingga Miosen Tengah yang menyebar merata dan aluvium yang berupa kerikil, pasir, lempung, lumpur, dan pasir, terutama bersusunan andesit, dan setempat mengandung magnetit berusia Holosen (Sudrajat, 1998).



**Gambar 1.** Peta tektonik busur Sunda-Banda, Sumbawa (Syuhada dkk., 2016)



**Gambar 2.** Peta geologi regional daerah penelitian (modifikasi dari Sudrajat, 1998)

## METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data sekunder dan data primer. Data sekunder berupa peta geologi regional daerah penelitian. Data primer diperoleh dari pemetaan geologi, deskripsi megaskopis, dan hasil analisis di laboratorium PSDMBP dengan menggunakan metode analisa petrografi, minerografi dan XRD.

Analisis petrografi untuk mempelajari tekstur, dan struktur dari batuan serta mineral pembentuk batuan melalui pengamatan mikroskopik pada sayatan tipis. Analisis minerografi untuk mengetahui jenis mineral bijih pada sampel batuan, menggunakan mikroskop dengan sinar pantul. Analisis XRF untuk menentukan komposisi kimia unsur sampel batuan. Jenis XRF yang digunakan berupa *handheld XRF*. Analisis XRD merupakan metode analisis yang memanfaatkan difraksi sinar-X untuk

mengetahui dan mengidentifikasi struktur kristal dari suatu mineral (Munasir, 2012). Dari hasil analisis XRD didapatkan komposisi mineral terutama mineral lempung-

Pemetaan geologi daerah penelitian dilakukan pada area seluas 54 hektar dengan menggunakan metode *grid mapping* dengan setiap interval 50 meter dilakukan pengamatan, pengambilan sampel, dan *plotting* koordinat. Terdiri dari *outcrop*, *subcrop*, dan *float* (Gambar 3).



**Gambar 3.** Kegiatan *sampling* batuan dan pengukuran struktur geologi

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Geologi Daerah Penelitian

Pemetaan geologi dilakukan menggunakan metode *grid mapping* dengan setiap interval 50 meter yang menghasilkan 191 titik pengamatan dengan data lapangan disajikan dalam bentuk peta *factual* (lokasi pengamatan) berisikan data jenis litologi, alterasi, jenis singkapan, dan jalur lintasan (Gambar 10).

Dari 191 titik lokasi pengamatan terkumpul 180 sampel, 10 sampel yang mewakili setiap litologi daerah penelitian dilakukan analisis di laboratorium. Sebanyak 8 sampel untuk analisis petrografi, 3 sampel untuk minerografi, dan 3 sampel untuk analisis XRD.

Peta *factual* tersebut merupakan acuan dasar dalam membuat peta geologi dan peta alterasi (Gambar 11, dan Gambar 12).

Geologi daerah penelitian disusun oleh batuan diorit yang muncul secara dominan contohnya pada deskripsi lapangan sampel Tp-009 yang berwarna abu kehijauan, ukuran butir faneritik, holokristalin, butiran kristal subhedral hingga euhedral, teralterasi lemah, terdapat mineral klorit, epidot, dan kalsit (Gambar 4).



Gambar 4. Hand specimen

Batuan diorit Tp-009

Batuan piroklastik contohnya pada deskripsi lapangan sampel Tp-031 yang berwarna putih kecoklatan, terdapat tuf, teralterasi silisifikasi, teroksidasi kuat,

terlihat mineral jarosit, dengan nama batuan kristal tuf (Gambar 5).



Gambar 5. Hand specimen Kristal tuf  
Tp=031

Batuan andesit contohnya pada deskripsi lapangan sampel Tp-126 yang berwarna abu kehijauan, ukuran butir afanitik, hipokristalin, teralterasi lemah dengan kehadiran mineral klorit dan kalsit (Gambar 6).



Gambar 6. Hand specimen

Batuan andesit Tp-126

Breksi hidrotermal contohnya pada deskripsi lapangan sampel Tp-154 yang berwarna putih kecoklatan, terdapat *quartz eye*, klas tuf dan andesit, terdapat *disseminated* pirit, matriks kuarsa dan feldspar, teroksidasi menengah dengan kehadiran hematit dan jarosit, teralterasi *advanced argillic* (Gambar 7).



**Gambar 7.** Hand specimen Breksi hidrotermal Tp-154 Batugamping Tp-092

Batugamping contohnya pada deskripsi lapangan sampel Tp-092 yang berwarna hijau keabuan, terdapat mineral kalsit, tidak teralterasi (Gambar 8).

#### Batu gamping Tp-092

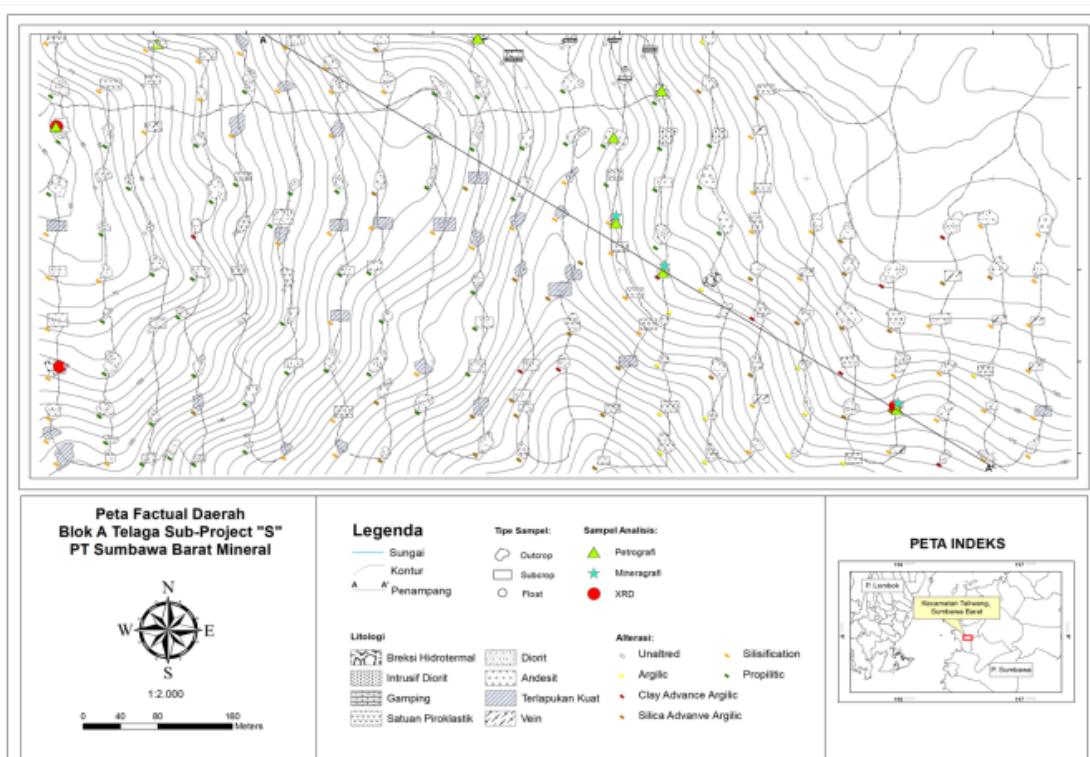
Serta batuan terlapukan kuat contohnya pada deskripsi lapangan sampel Tp-078 yang berwarna merah kecoklatan, teroksidasi kuat dengan kehadiran mineral hematit, goetit, dan jarosit (Gambar 9). Struktur geologi dijumpai berupa kekar kekar yang memotong batuan diorit.



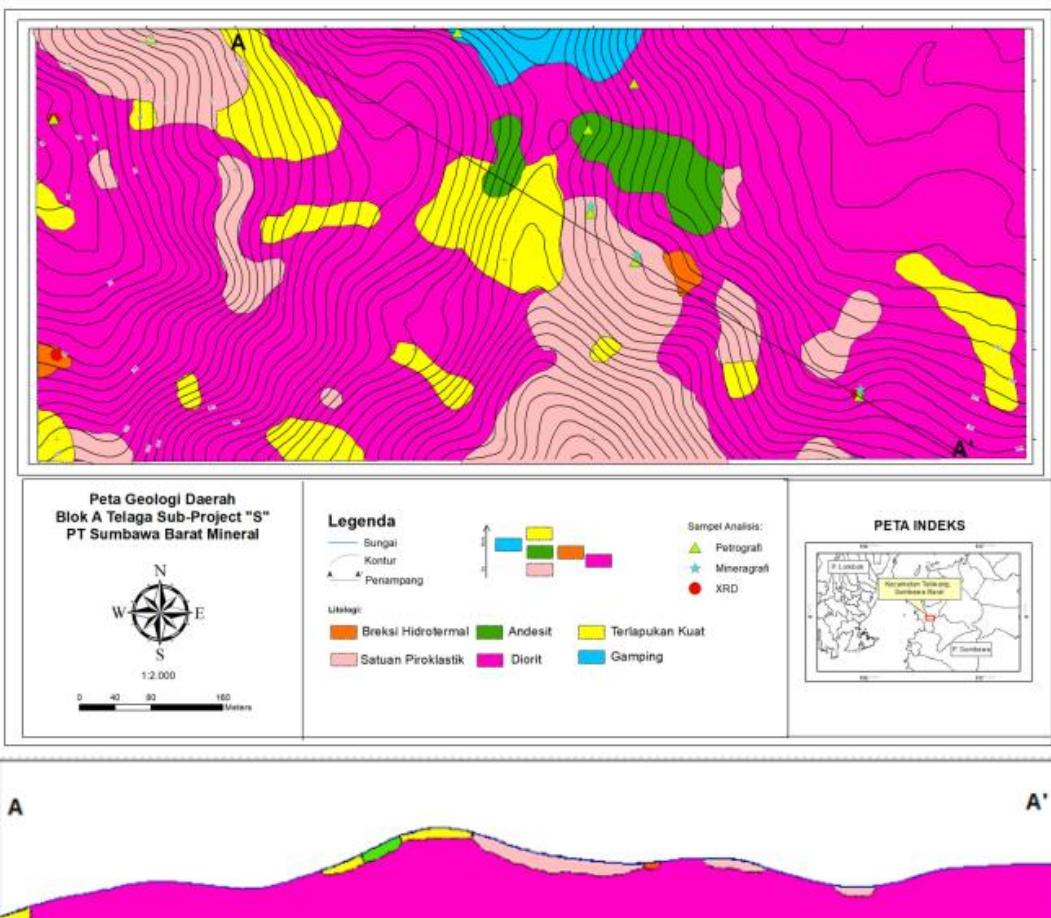
**Gambar 8.** Hand specimen Batugamping Tp-092



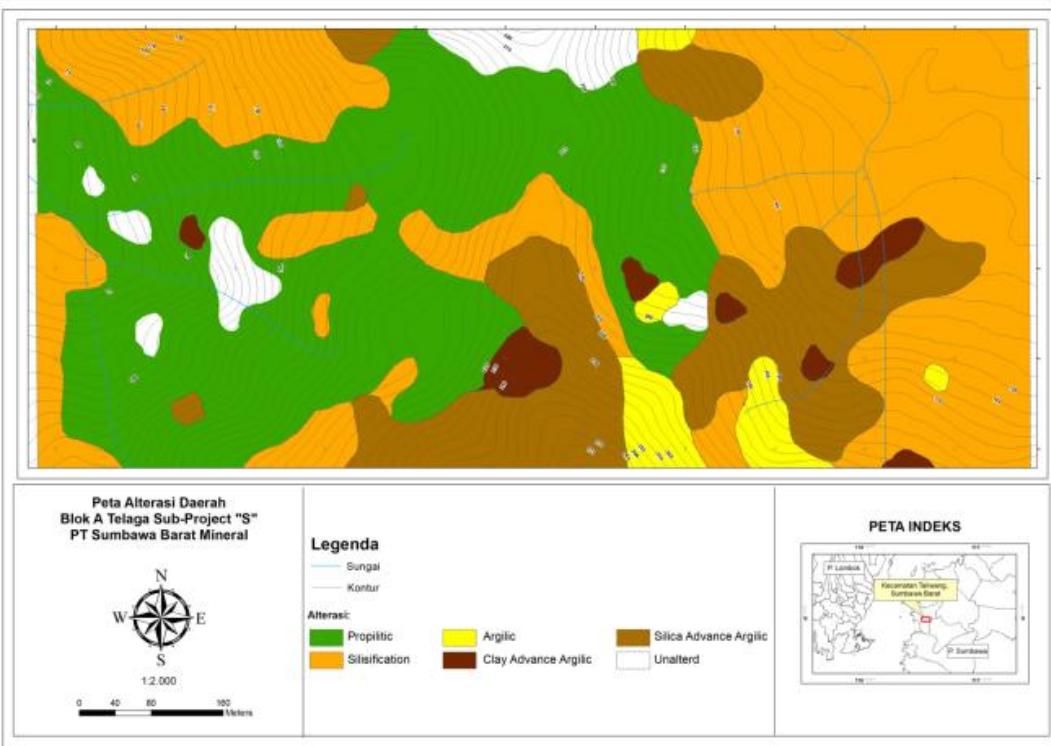
**Gambar 9.** Hand specimen Batuan terlapukan kuat Tp-078



**Gambar 10.** Peta factual daerah penelitian



**Gambar 11.** Peta geologi daerah penelitian



**Gambar 12.** Peta alterasi daerah penelitian

Dari hasil pengamatan mikroskopis sampel Tp-009, diorit kuarsa (Streckeisen, 1976 dalam Le Maitre, 2002) terdapat mineral plagioklas yang terubah menjadi kalsit dan klorit, serta terdapat mineral epidot dan mineral opak (Gambar 13).

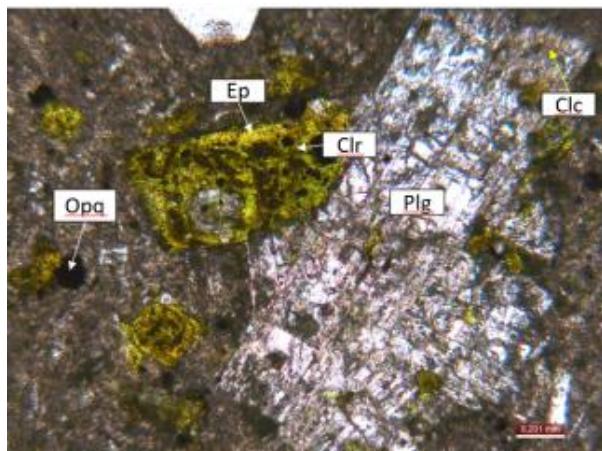
Dari hasil pengamatan mikroskopis sampel Tp-031, tufa kristal (Fisher, 1960 dan Pettijhon, 1975) terdapat mineral kuarsa yang mengisi matriks tuf (Gambar 14).

Sampel nomor Tp-092, data hasil pemetaan menunjukkan bahwa litologi pada sampel tersebut adalah batugamping, namun setelah melakukan

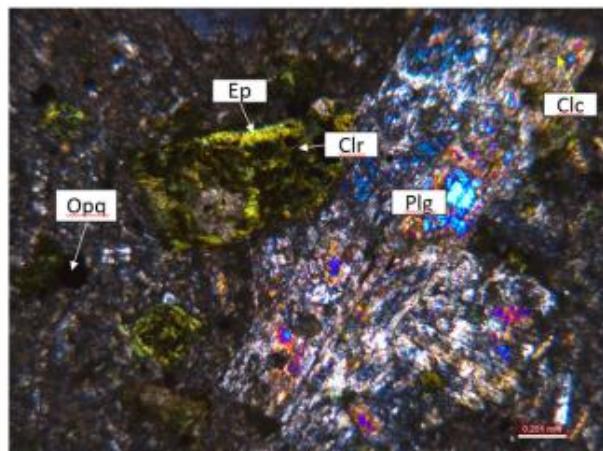
analisis sampel Tp-092 merupakan batu *lithicwacke* (Pettijhon, 1975) yang terdapat mineral kalsit, plagioklas, kuarsa, fragmen litik, dan terdapat skeletal *grain* berupa fosil foraminifera dan alga (Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17).

Sampel Tp-126, andesit (Streckeisen, 1976 dalam Le Maitre, 2002) terdapat mineral plagioklas, epidot, klorit, kuarsa, mineral opak, dan juga terlihat adanya *microfracture* pada plagioklas yang terisi oleh kuarsa (Gambar 18 dan Gambar 19).

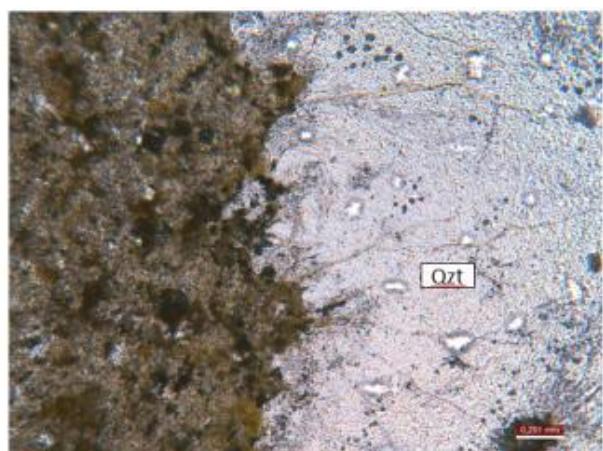
Sampel Tp-130, batuan tersilikakan. Kandungan dominan berupa kuarsa, dan sedikit mineral opak (Gambar 20).

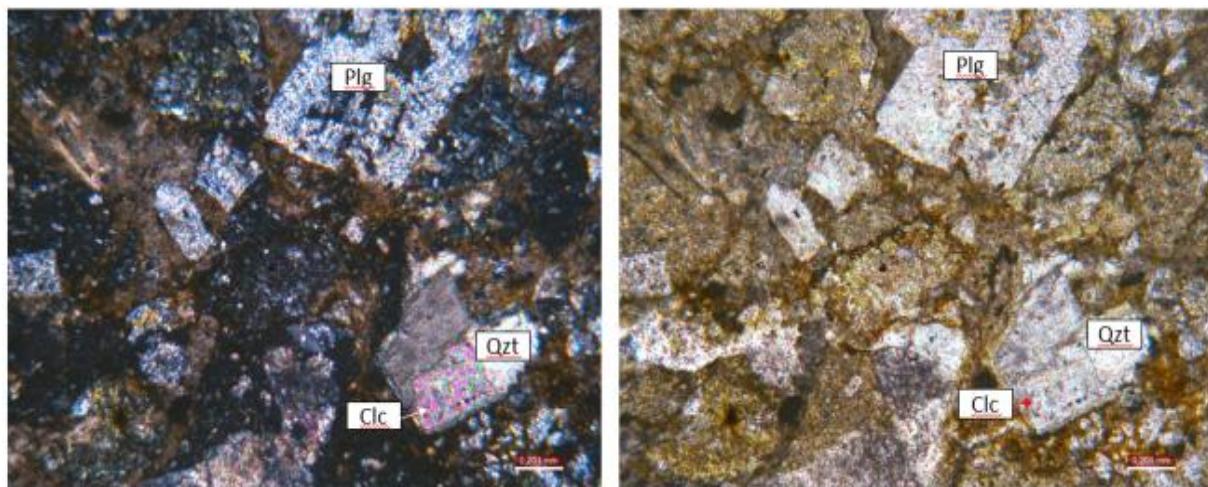


**Gambar 13.** Fotomikrograf sayatan tipis sampel TP-009. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan) menunjukkan adanya plagioklas (Plg) yang terubah menjadi kalsit (Clc) dan klorit (Clr), serta terdapat mineral epidot (Ep) dan mineral opak (Opq)

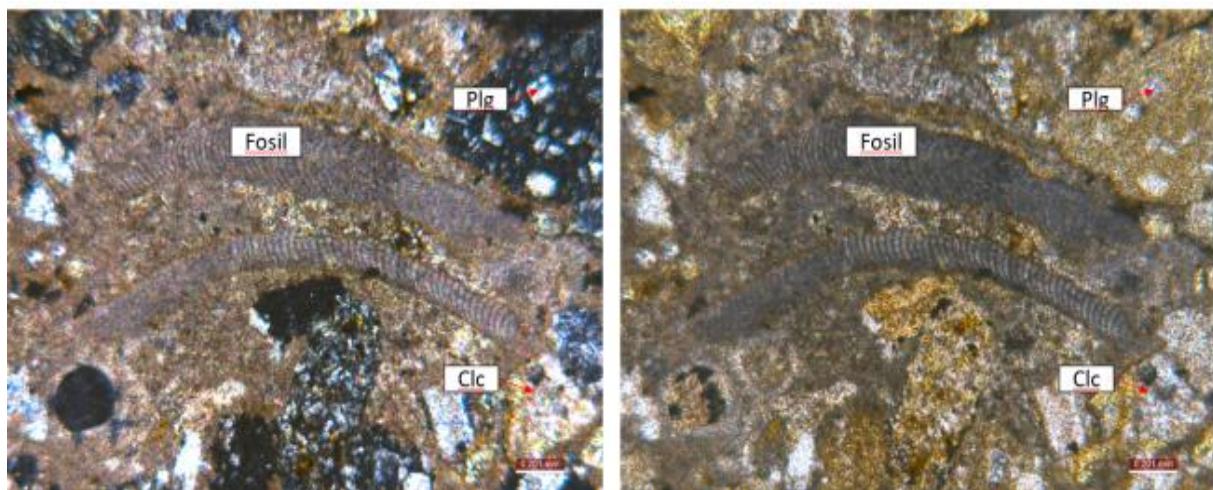


**Gambar 14.** Fotomikrograf sayatan tipis sampel TP-031. Kenampakan PPL (kanan) dan XPL (kiri) kuarsa (Qzt) yang mengisis matriks tuf

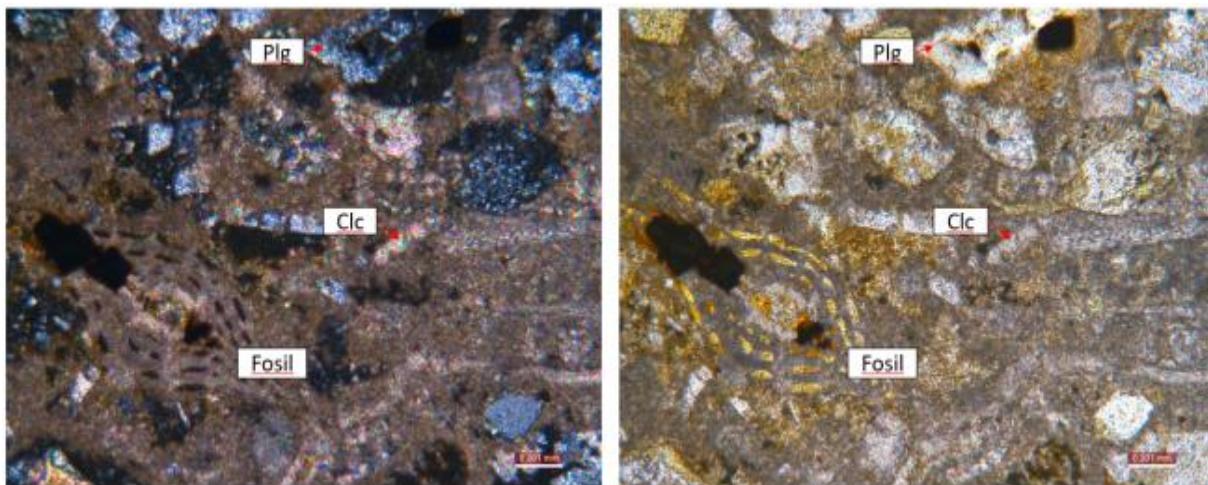




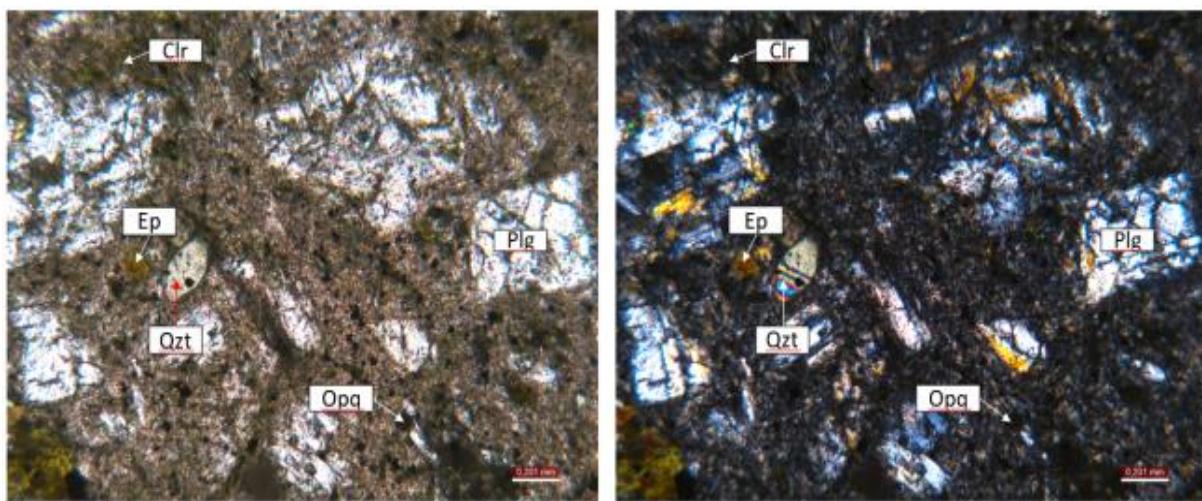
**Gambar 15.** Fotomikrograf sayatan tipis sampel TP-092. Kenampakan PPL (kanan) dan XPL (kiri) terdapat plagioklas (Plg), kuarsa (Qzt), dan mineral kalsit (Clc)



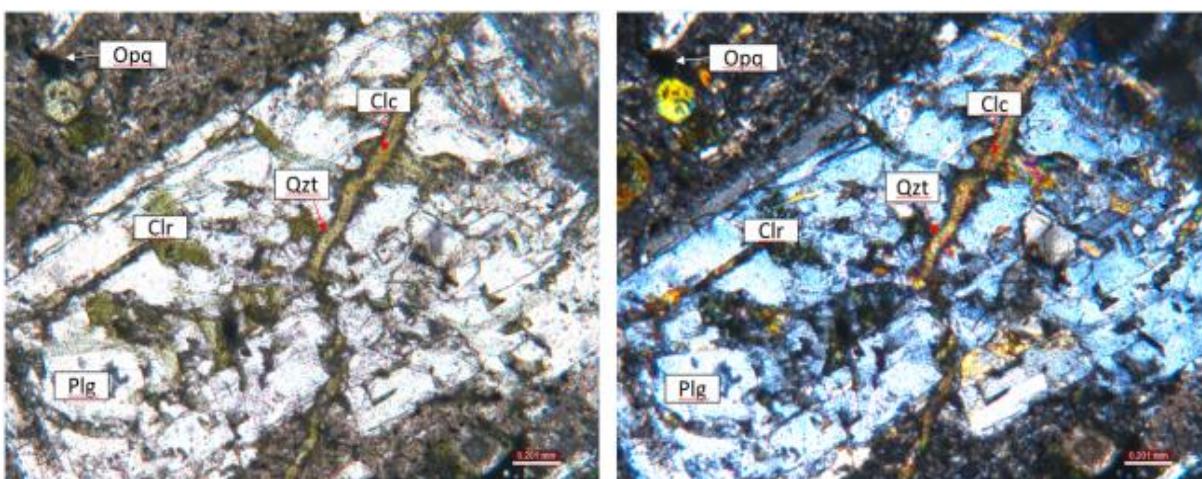
**Gambar 16.** Fotomikrograf sayatan tipit sampel TP-092 Kenampakan PPL (kanan) dan XPL (kiri) fosil alga



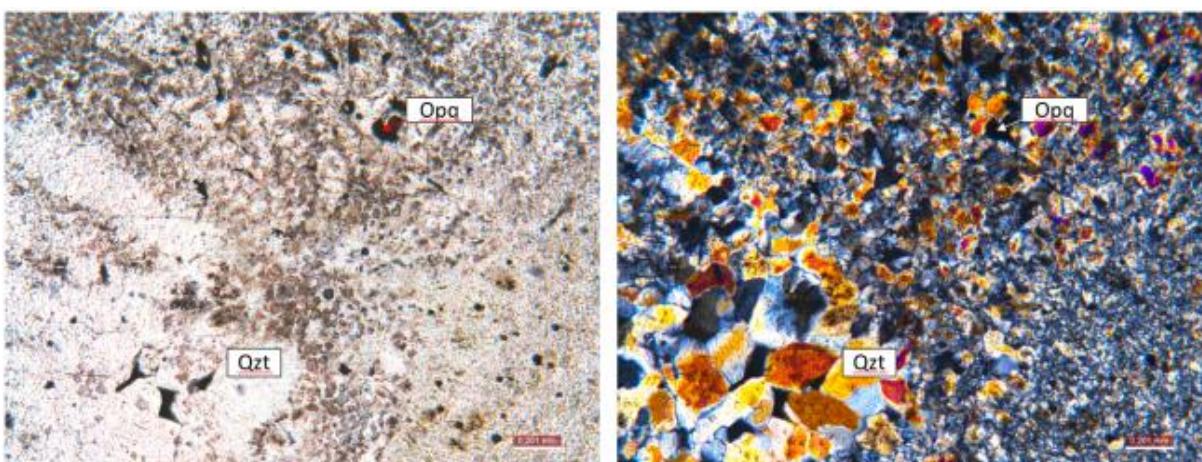
**Gambar 17.** Fotomikrograf sayatan tipis sampel TP-092. Kenampakan PPL (kanan) dan XPL (kiri) fosil foraminifera



**Gambar 18.** Fotomikrograf sayatan tipis sampel TP-126. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan) menunjukkan adanya plagioklas (Plg) klorit (Clr) serta kenampakan mineral epidot (Ep) dan opak (Opq)



**Gambar 19.** Fotomikrograf sayatan tipis sampel TP-126. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan) menunjukkan adanya *microfracture* pada plagioklas (Plg) yang terisi oleh kuarsa (Qzt)



**Gambar 20.** Fotomikrograf sayatan tipis sampel TP-130. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan) menunjukkan mineral dominan kuarsa (Qzt) dan mineral opak (Opq)

Dengan adanya himpunan mineral klorit, epidot, dan kalsit mengindikasikan alterasi propilitik. Kehadiran mineral kuarsa yang mendominasi beberapa sampel mengindikasikan adanya alterasi silisifikasi (Hedenquist, 2000).

#### Kandungan Unsur Logam dalam Batuan

Hasil analisis sebanyak 180 sampel batuan dengan menggunakan metode

XRF, tersusun tabel rangkuman statistik deskriptif (Tabel 1) dan tabel koefisien korelasi (Tabel 3).

Kemudian disusun dalam bentuk peta sebaran kandungan unsur Cu, Ag, Pb, Zn, As, dan Mn. Masing-masing unsur disusun klasifikasinya dengan mempertimbangkan kandungan rata-rata kerak bumi (Tabel 2), dan *enrichment factor* (Macheyeki, 2020).

**Tabel 1.** Rangkuman statistik deskriptif

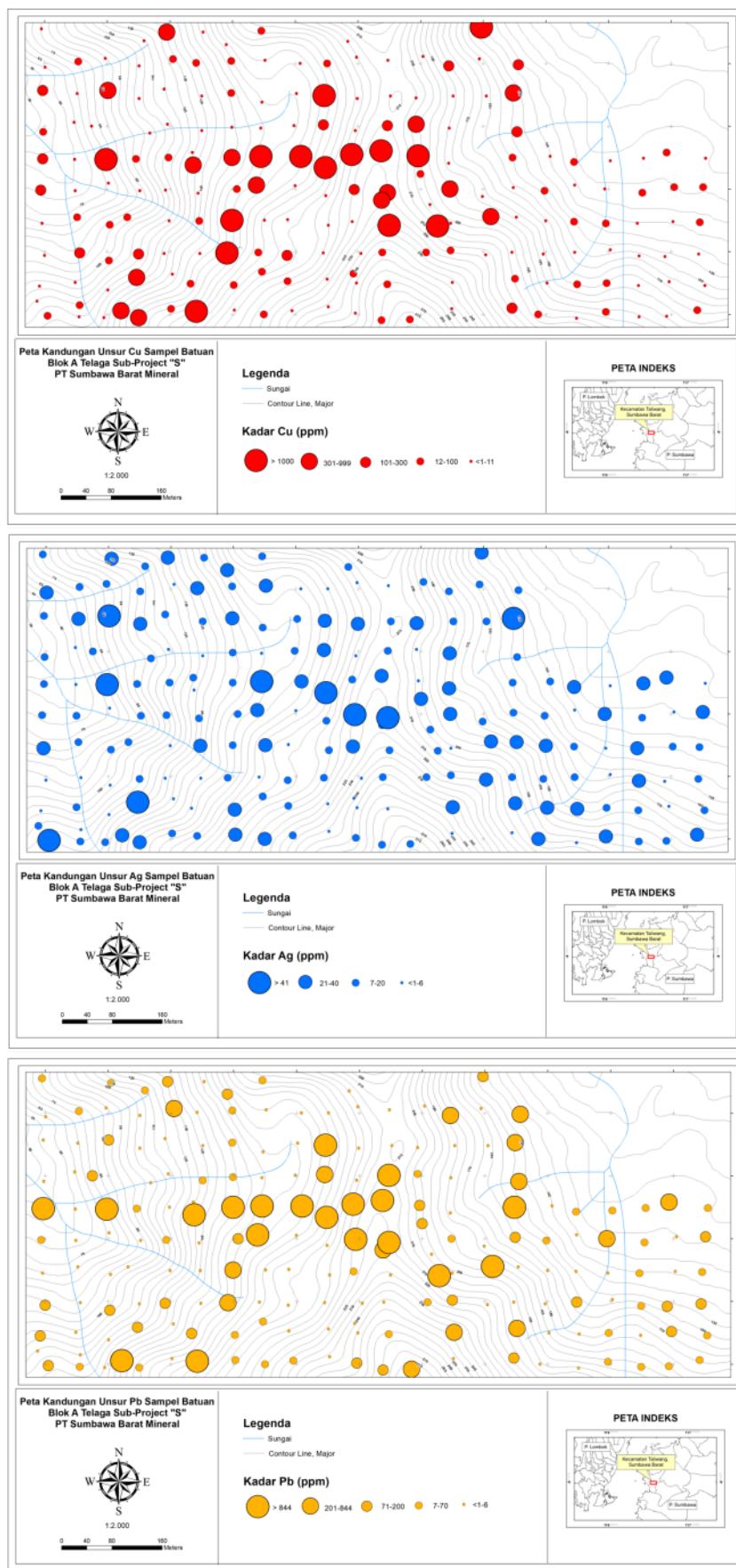
Unsur	Jumlah	Minimum	Maksimum	Mean	Standar Deviasi	Satuan
Cu	180	0	44.162	631	3.737,609	Ppm
Ag	180	0	129	16	17,175	Ppm
Pb	180	0	46.294	817	3.995,959	Ppm
Zn	180	0	5.572	265	607,418	Ppm
As	180	0	1.558	50	156,080	Ppm
Mn	180	0	56.669	1.533	4.352,018	Ppm

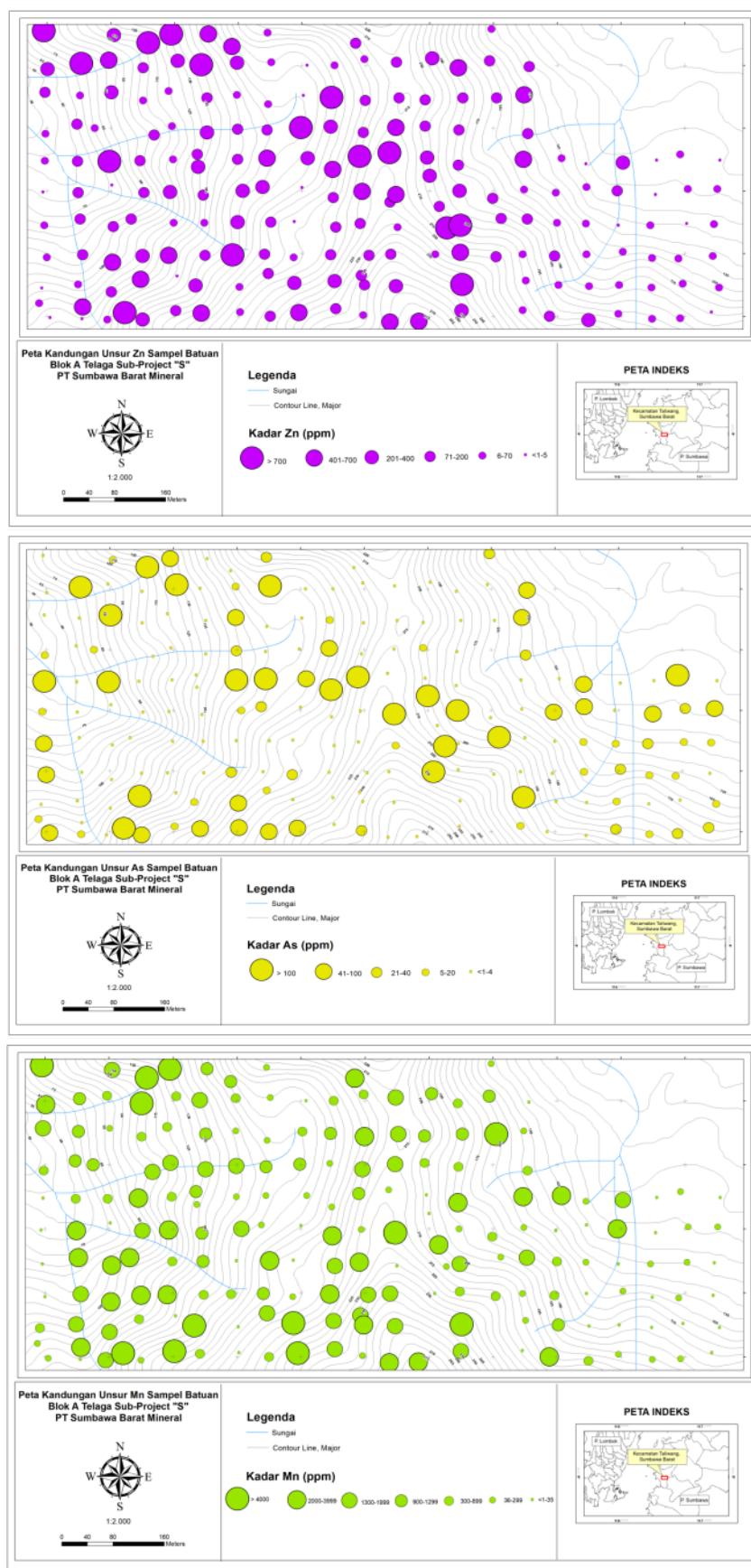
**Tabel 2.** Rata-rata unsur pada kerak bumi (modifikasi dari Macheyeki, 2020)

Unsur	Rata-rata unsur pada kerak bumi (Ppm)
Cu	27
Ag	0,056
Pb	11
Zn	72
As	1,8
Mn	950

**Tabel 3.** Koefisien korelasi unsur hasil analisis sampel

Unsur	Cu	Ag	Pb	Zn	As	Mn
Cu	1	0,14	0,44	0,34	0,17	-0,03
Ag	0,14	1	0,50	0,36	0,56	0,03
Pb	0,44	0,50	1	0,73	0,79	0,15
Zn	0,34	0,36	0,73	1	0,54	0,28
As	0,17	0,56	0,79	0,54	1	0,35
Mn	-0,03	0,03	0,15	0,28	0,35	1





**Gambar 21.** Peta sebaran kandungan unsur Cu, Ag, Pb, Zn, As, dan Mn daerah penelitian

Pembagian interval kelas setiap unsur berdasarkan jumlah data yang diperoleh dari hasil analisis, data tersebut dibagi dengan ketentuan nilai kadar tertinggi memiliki jumlah titik yang sedikit dibandingkan jumlah titik pada nilai kadar menengah hingga seterusnya.

Kadar rata-rata unsur Cu pada kerak bumi berkisar 27 ppm. Hasil pengelompokan kadar unsur didapatkan kelas : 1 - 11 ppm, 12 - 100 ppm, 101 - 300 ppm, 301 - 999 ppm, dan 1.000 - 44.162 ppm. Kelas tertinggi memiliki kadar 37 - 1.635 kali lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kadar Cu pada kerak bumi (Gambar 21).

Kadar rata-rata unsur Ag pada kerak bumi berkisar 0,056 ppm. Hasil pengelompokan kadar unsur didapatkan kelas : 1 - 6 ppm, 7 - 20 ppm, 21 - 40 ppm, dan 41 - 130 ppm. Kelas tertinggi memiliki kadar 732 - 2.321 kali lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kadar Ag pada kerak bumi (Gambar 21).

Kadar rata-rata unsur Pb pada kerak bumi berkisar 11 ppm. Hasil pengelompokan kadar unsur didapatkan kelas : 1 - 6 ppm, 7 - 70 ppm, 71 - 200 ppm, 201 - 844 ppm, dan 1.015 - 46.294. Kelas tertinggi memiliki kadar 92 - 4.208 kali lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kadar Pb pada kerak bumi (Gambar 21).

Kadar rata-rata unsur Zn pada kerak bumi berkisar 72 ppm. Hasil pengelompokan kadar unsur didapatkan kelas : 1 - 5 ppm, 6 - 70 ppm, 71 - 200 ppm, 201 - 400 ppm, 401 - 700 ppm, dan 701 - 5.572 ppm. Kelas tertinggi memiliki kadar 9 - 77 kali lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kadar Zn pada kerak bumi (Gambar 21).

Kadar rata-rata unsur As pada kerak bumi berkisar 1,8 ppm. Hasil pengelompokan kadar unsur didapatkan kelas : 1 - 4 ppm, 5 - 20 ppm, 21 - 40 ppm, 41 - 100 ppm, dan 101 - 1.558 ppm. Kelas tertinggi memiliki kadar 56 - 865 kali lebih besar

dibandingkan dengan rata-rata kadar As pada kerak bumi (Gambar 21).

Kadar rata-rata unsur Mn pada kerak bumi berkisar 950 ppm. Hasil pengelompokan kadar unsur didapatkan kelas : 1 - 37 ppm, 38 - 299 ppm, 300 - 899 ppm, 900 - 1.299 ppm, 1.300 - 1.999 ppm, dan 2.000 - 56.669 ppm. Kelas tertinggi memiliki kadar 2 - 59 kali lebih besar dibandingkan dengan rata-rata kadar Mn pada kerak bumi (Gambar 21).

Dari hasil pemetaan kandungan unsur Cu, Ag, Pb, Zn, As, dan Mn sampel batuan diperoleh beberapa lokasi mineralisasi. Kandungan unsur pada zona mineralisasi ditandai dengan *enrichment factor* besar. Diawali dari beberapa titik lokasi mineralisasi tersebut dapat dilakukan eksplorasi lanjutan, untuk menemukan kemenerusan zona mineralisasi.

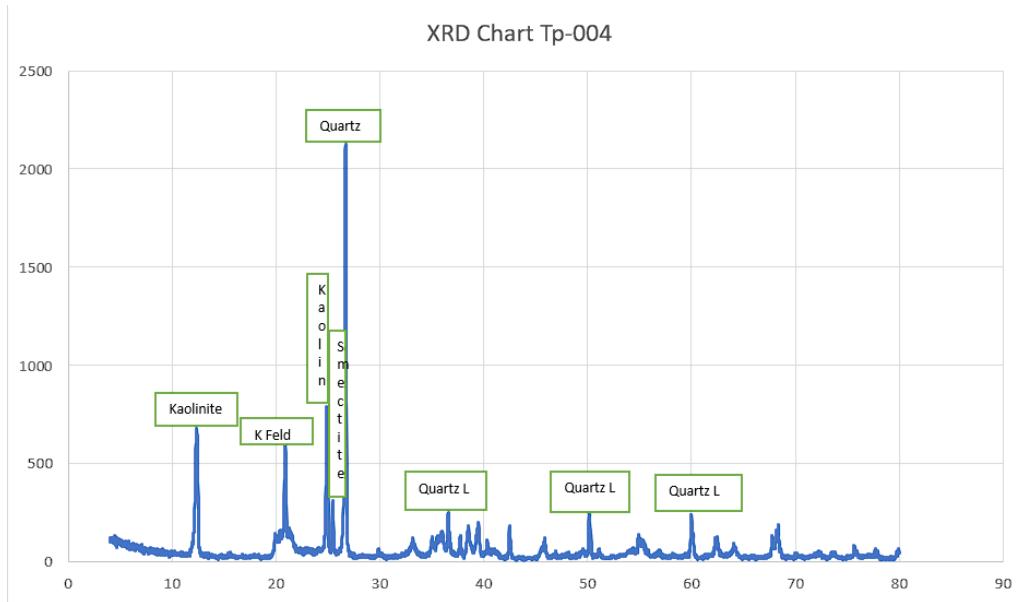
### **Alterasi dan Mineralisasi**

Alterasi merupakan proses perubahan mineral dan batuan baik itu sifat kimia maupun sifat fisiknya yang terjadi akibat interaksi dengan fluida hidrotermal (Prajono, 2009). Alterasi menjadi indikator penting dalam eksplorasi mineral, dapat mengarahkan peneliti pada lokasi yang potensial untuk menemukan endapan mineral. Keberadaan alterasi pada batuan menandakan adanya aktivitas hidrotermal yang berada di bawah permukaan bumi.

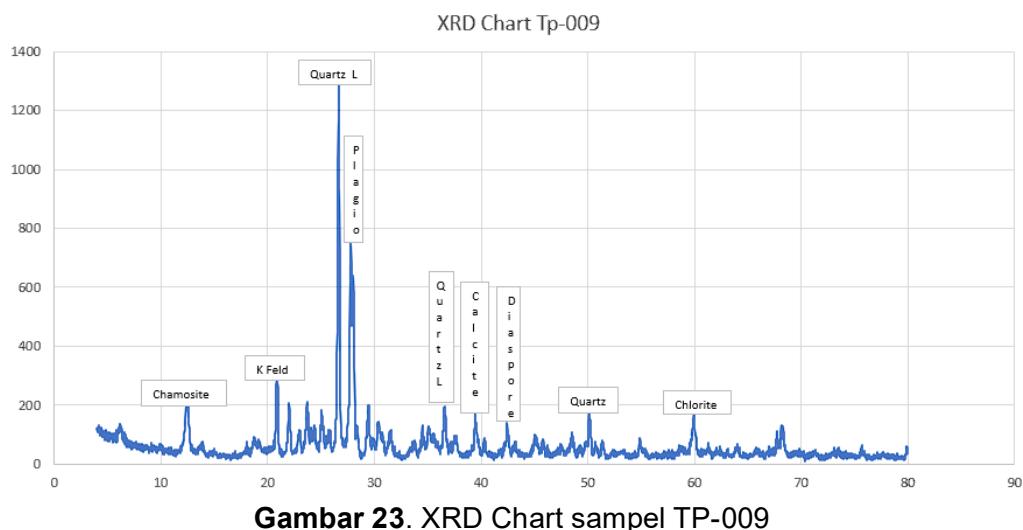
Analisis XRD dilakukan terhadap 3 sampel batuan. Hasil analisis XRD dari sampel Tp-004 terdapat mineral kaolinit, K-feldspar, smectite, dan kuarsa (Gambar 22).

Hasil analisis XRD pada sampel Tp-009 menunjukkan adanya mineral chamosite (klorit), K-feldspar, kuarsa, plagioklas, kalsit, dan klorit (Gambar 23).

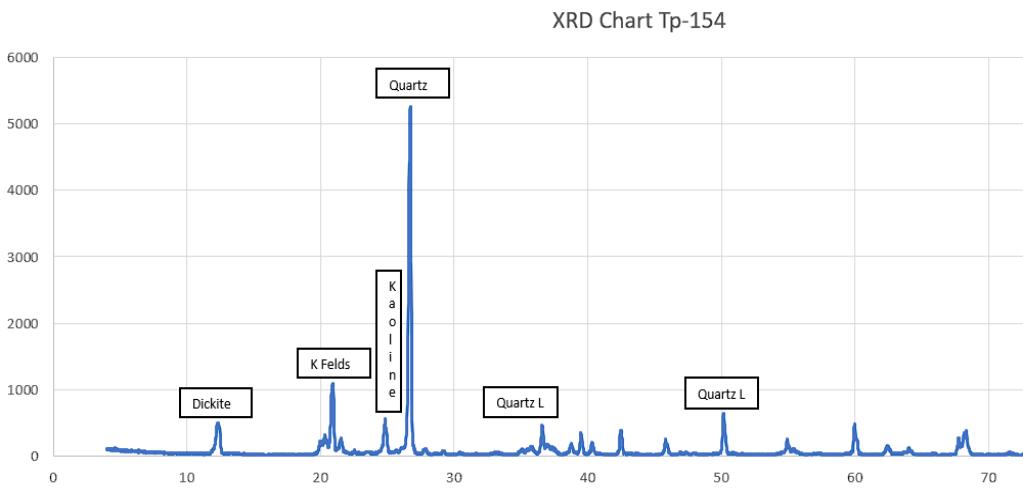
Hasil analisis XRD sampel Tp-154 didapatkan adanya mineral dickite, K-feldspar, kaolin, dan kuarsa (Gambar 24).



**Gambar 22.** XRD Chart sampel TP-004



**Gambar 23.** XRD Chart sampel TP-009



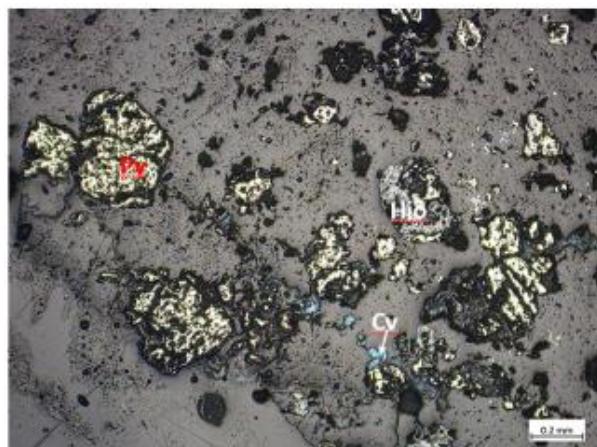
**Gambar 24.** XRD Chart sampel TP-154

Dengan kehadiran himpunan mineral-mineral lempung seperti *smectite* dan kaolin mengindikasikan bahwa daerah penelitian terdapat alterasi argilik. Kehadiran himpunan mineral lempung seperti *smectite*, *dickite*, dan kaolin mengindikasikan alterasi *advanced argillic*. Kehadiran mineral klorit, epidot, dan kalsit mengindikasikan alterasi propilitik (Hedenquist, 2000).

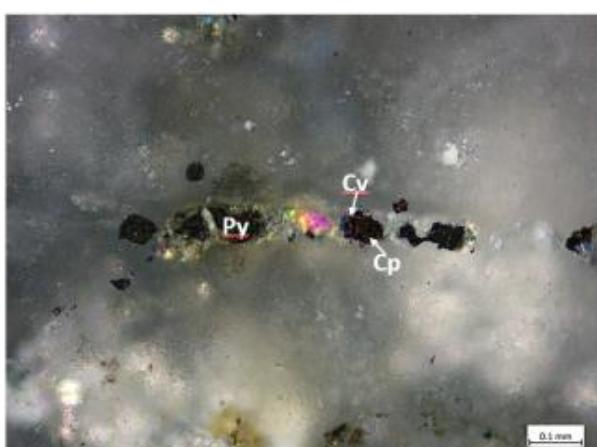
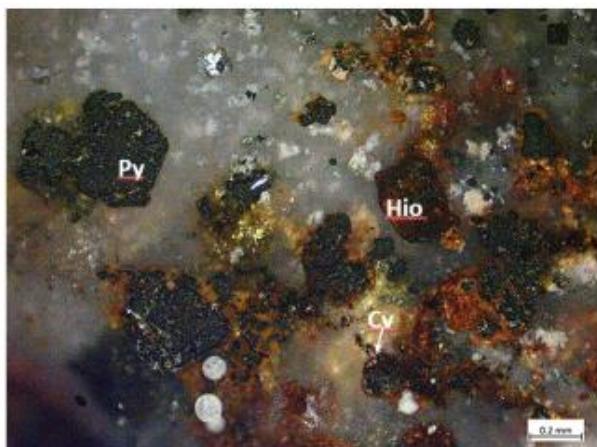
Mineralisasi merupakan proses terbentuknya konsentrasi logam-logam berharga atau mineral lainnya dalam batuan atau endapan sebagai hasil dari interaksi antara larutan hidrotermal dan batuan samping. Mineralisasi merupakan hasil dari proses geologi kompleks yang melibatkan interaksi antara fluida hidrotermal, batuan samping, dan zona-

zona lemah pada kerak bumi. Proses ini terjadi ketika fluida hidrotermal kaya unsur terlarut bergerak melalui retakan dan poropori dalam batuan samping, mengendapkan mineral atau logam yang terkandung dalam larutannya saat kondisi fisikokimia berubah. Mineralisasi dikaitkan dengan adanya intrusi magma yang memberikan panas dan fluida hidrotermal yang mengandung unsur-unsur logam (Prajono, 2009).

Analisis mineragrafi dilakukan pada 3 sampel batuan yaitu sampel A1, A3a, dan A3b. Hasil pengamatan sampel A1 terdapat mineral kovelit yang muncul berdampingan dengan pirit, dan dijumpai hidros oksida besi yang berdampingan dengan pirit (Gambar 25), serta dijumpai mineral kovelit dan kalkopirit (Gambar 26).



**Gambar 25.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A1. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan), hidros besi oksida (Hio), pirit (Py), dan kovelit (Cv)



**Gambar 26.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A3. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan), kalkopirit (Cp), pirit (Py), dan kovelit (Cv)

Pada sampel A3a terdapat mineral pirit yang berada di dalam hidros oksidasi besi (Gambar 27), dan mineral hematit yang mengelilingi pirit (Gambar 28).

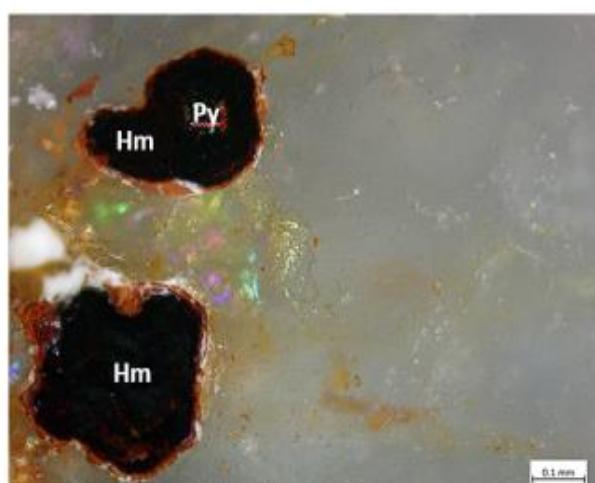
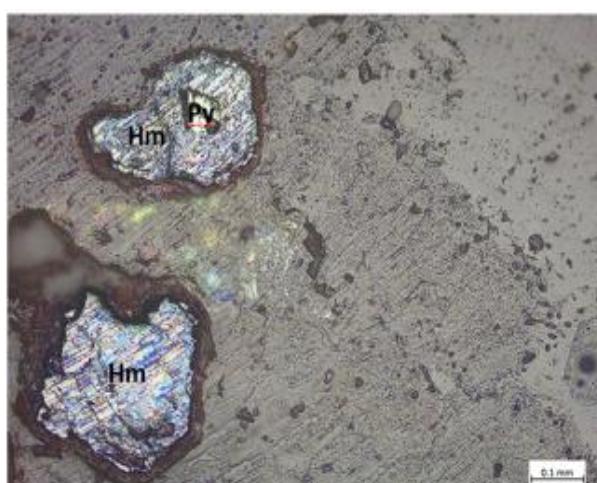
Pada sampel A3b terdapat mineral kovelit (Gambar 29), mineral pirit (Gambar 30), dan mineral kalkopirit (Gambar 31), serta terdapat mineral kovelit yang mengganti mineral kalkopirit yang mengelilingi pirit (Gambar 32).

Dari hasil analisis XRD dan petrografi didapatkan empat himpunan mineral. Himpunan mineral antara *smectite* dan kaolin mengindikasikan bahwa daerah penelitian terdapat alterasi argilik.

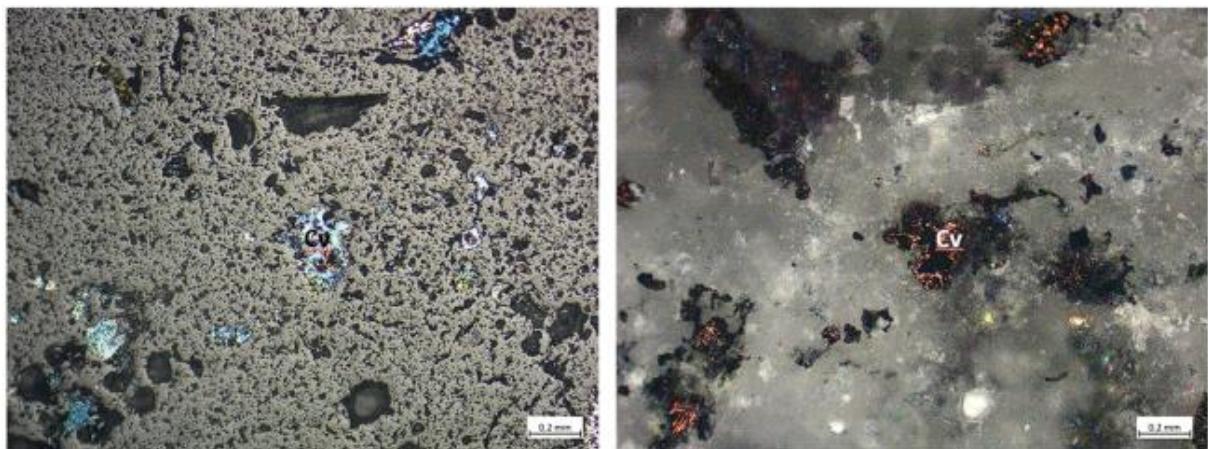
Himpunan mineral antara *smectite*, *dickite*, dan kaolin mengindikasikan alterasi *advanced argillitic*. Himpunan mineral klorit, epidot, dan kalsit mengindikasikan alterasi propilitik. Mineral kuarsa yang mendominasi beberapa sampel mengindikasikan adanya alterasi silisifikasi (Hedenquist, 2000), dari hasil analisis tersebut didapatkan beberapa data yang serupa dengan data hasil pemetaan yang dilakukan sebelumnya di lapangan dengan begitu data hasil pemetaan sebagian besar sesuai. Penentuan jenis alterasi tersebut berdasarkan tabel karakteristik kedalaman dan temperatur mineral alterasi pada sistem hidrotermal (Tabel 5)



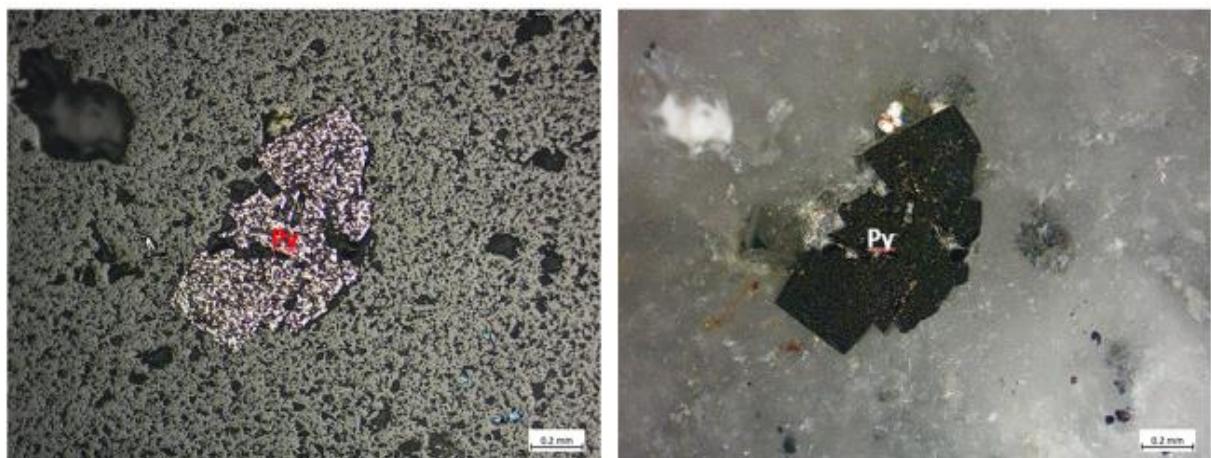
**Gambar 27.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A3 a. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan) pirit (Py) dikelilingi hidros besi oksida (Hio)



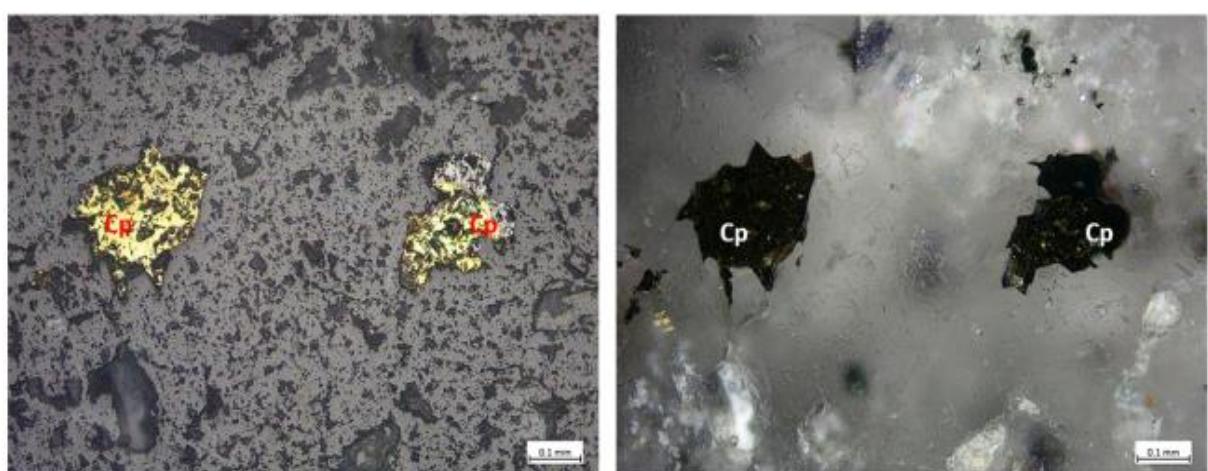
**Gambar 28.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A3 a. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan) pirit (Py) dikelilingi hematit (Hm)



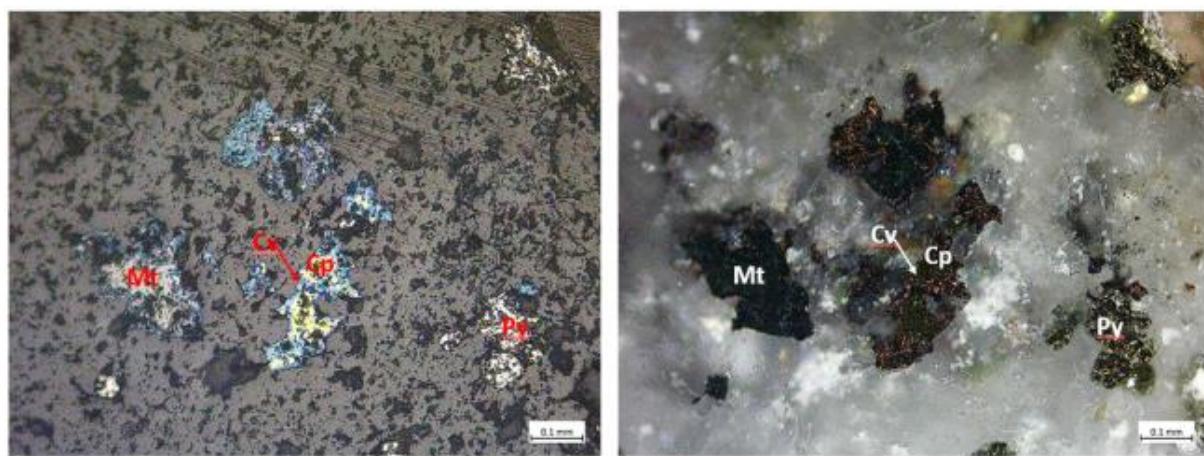
**Gambar 29.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A3 b. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan), mineral kovelit (Cv)



**Gambar 30.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A3 b. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan), mineral pirit (Py)



**Gambar 31.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A3 b. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan), mineral kalkopirit (Cp)



**Gambar 32.** Fotomikrograf sayatan poles sampel A3 b. Kenampakan PPL (kiri) dan XPL (kanan), kalkopirit (Cp), pirit (Py), mineral ubahan kovelit (Cv) dan magnetit (Mt)

**Tabel 5.** Karakteristik kedalaman dan temperatur mineral alterasi pada sistem hidrotermal (modifikasi dari Hedenquist, 2000)

Perkiraaan kedalaman (m)	Paleosurface (permukaan tanah) atau paleowater table (permukaan air)	0-150 m	150-300 m	300-500 m	500-1000 (1500) m
Temperatur suhu (°C)		100-120	100-200	200-230	230-260
Alterasi advance argilik	Dipanaskan-uap (kaolinit-alunit) lapisan diatas permukaan air; opal residu	Dipanaskan-uap (kaolinit-alunit) terbentuk diatas rekahan (retakan)	Jarang terjadi adanya lapisan	Tidak ada	Tidak ada
Alterasi Silisifikasi	Sinter di sekitar mata air panas, horizon kalsedon di permukaan air.	Urat colloform kalsedon, batuan samping tersilifikasi	Urat kuarsa, finebands (berlapis halus), open space, (pengisian)	Urat kuarsa berlapisan coarse bands (kasar)	Urat kuarsa minor, silisifikasi minimal
Alterasi Argilik	Kaolinit-smectite	Smectite, campuran illite/smectite ; di halo sampai dengan kedalaman 1000 m	illite/smectite minor ke illite	illite	illite, halo illiet/smectite di tepian
Alterasi Sericitic	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Illite + klorit	2M mika
T-sensitive atau T-indicative	Opal	Kalsedon	hilangnya lempung di setiap lapisan	illite, terdapat epidot	Biotit-ampibol, >800-1000 m
Asosiasi Mineral	kaolinit-alunit	Adularia	Adularia	Adularia	K feldspar
Karbonat, lainnya	Tidak ada	Kalsit berstruktur Bladed karbonat mengandung Mn (terbentuk di akhir)	kalsit berstruktur Bladed, rhodochorsite + barit (AR)	kalsit	Kalsit
Sulfida (RB)	Pirit-marcasite di dasar	Pirit	Pirit, arsenopirit, pirhotit, Ag selenida	Pirit, arsenopirit, pirhotit, Ag selenida	Logam dasar tidak dominan, Sphalerite galena-kalkopirit
Sulfida (AR)	Pirit-marcasite di dasar	Pirit	Tetrahidrite-tenantite	Logan dasar sulfida yang dominan	Logam dasar sulfida
Alterasi Propilitik	-	Kloritik	Kloritik, Jejak epidote	Klorit + epidote	Epidote

Himpunan mineral *smectite*, *dickite* dan *kaolin* mengindikasikan alterasi *advanced argillic*, serta dengan kehadiran mineral *kovelit* mengindikasikan mineralisasi tipe *epithermal high sulfidation* (Hedenquist, 2000).

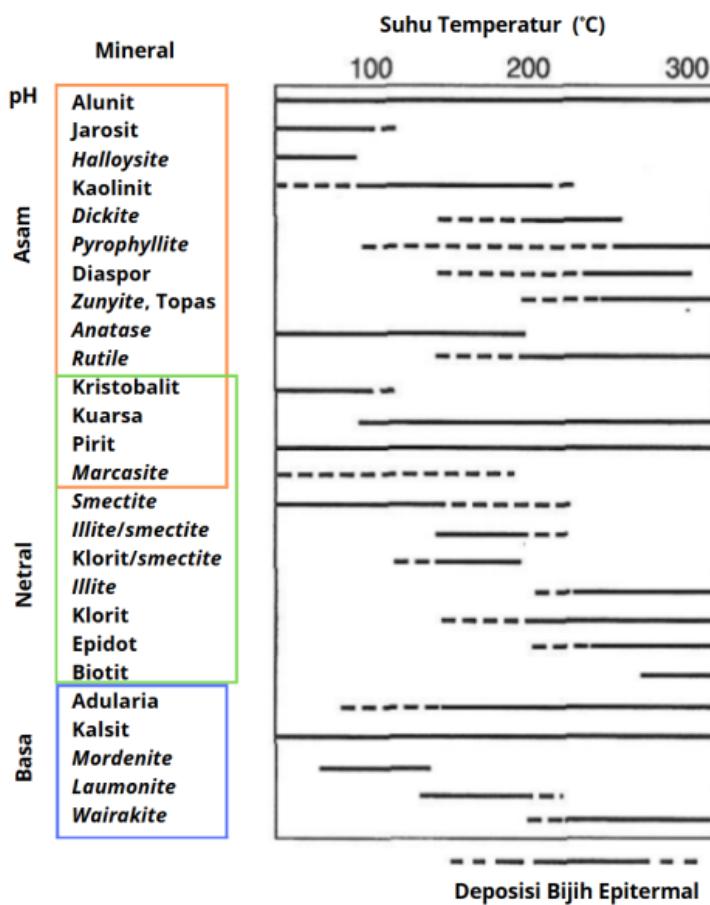
Mineralisasi kadar tinggi unsur Cu, Ag, Pb, Zn, As, dan Mn menunjukkan bahwa mineralisasi *high sulfidation* tersebut pada

kedalaman intermediat (Hedenquist, 2000). Penentuan tipe mineralisasi tersebut berdasarkan karakteristik endapan (Tabel 6) dan temperatur pembentukan mineral (Gambar 34).

Berawal dari beberapa lokasi mineralisasi tersebut dapat dilakukan eksplorasi lanjutan, untuk mengetahui kemenerusan zona mineralisasi.

**Tabel 6.** Karakteristik endapan *high sulfidation* dan *low sulfidation* (modifikasi dari Hedenquist, 2000)

Karakteristik Endapan Sulfidasi Tinggi dan Sulfidasi Rendah					
	Deposit Sulfidasi Rendah		Deposit Sulfidasi Tinggi		
	Dangkal	Dalam	Dangkal	Intermediat (Menengah)	Dalam (Porfiri)
Kedalaman Formasi	0-300 m	300-800 m	<500 m	500-1000 m	>1000 m
Bentuk Deposit	Urat, stockwork, disseminated (menyebar)	Urat, badan breksi, disseminated (menyebar)	Disseminated (menyebar), breksi, urat tipis	Urat sulfida masif, breksi, ledges (singkapan)	Dissimilation (menyebar), urat-urat tipis, breksi
Tekstur Bijih	Fine bands (berlapis halus), combs, crustiform, breksi	Coarse bands (berlapis kasar)	Kuarsa vuggy sebagai pengganti	Sulfida masif, urat/breksi akhir	Penggantian
Alterasi	Lapisan alunit-kaolinit, halo lempung	Lempung, serosit, karbonat; roskoelit, fluorit	Silisifikasi (vuggy), kuarsa-alunit	Silika (vuggy), kuarsa-alunit, pyrophyllite-dickite-serosit	Pyrophyllite-serosit, kuarsa-serosit
Pengotor	Chalcedony-adularia-illite-kalsit	Kuarsa-karbonat-rhodonite-serosit-adularia + barit + anhidrit + hematit + klorit	Alunit, barit, kaolinit	Anhidrit, kaolinit, dickite	Serosit, pyrophyllite
Sulfida	Sinabar, stibnite; pirit/marcasite-arsenopirit, Au-Ag selenida, Se sulfosalts, pirhotit, Fe-kaya akan sphalerit	Pirit-Au-Ag sulfida/sulfosalts, variable sphalerit, galena, kalkopirit, tetrahedrit/tennantit	Enargit/luzonit, covelit, pirit	Enargit/luzonit, kalkopirit, tetrahedrit/tennantit, sphalerit, covelit akhir, pirit	Bornit, digenite, kalsosit, covelit
Logam	Au-Ag-As-Sb-Se-Hg-Tl, rendah Ag:Au;<0.1-1% logam dasar	Ag-Au-Pb-Zn, Ba, Mn, Se, tinggi Ag:Au; 2-10 (20+)% logam dasar	Au-Ag, Cu terlarut (Hg overprint)	Cu-Au-Ag-Bi-Te-Sn	Cu-Au



**Gambar 34.** Kisaran temperatur pembentukan mineral  
(modifikasi dari Hedenquist, 2000)

## KESIMPULAN

Hasil analisis sampel di laboratorium didapatkan alterasi pada daerah penelitian terdiri dari propilitik, argilik, *advanced argillic*, dan silisifikasi. Indikasi alterasi argilik yakni dengan kehadiran himpunan mineral lempung seperti *smectite* dan kaolin. Kehadiran himpunan mineral lempung berupa *smectite*, *dickite*, dan kaolin mengindikasikan alterasi *advanced argillic*. Sedangkan kehadiran mineral klorit, epidot, dan kalsit mengindikasikan alterasi propilitik. Mineralisasi pada daerah penelitian berdasarkan hasil analisis XRF yaitu tembaga, perak, timbal, seng, arsen, dan mangan. Hasil tersebut dikuatkan dengan analisis mineragrafi didapatkan mineral pirit, kalkopirit, dan kovelit. Dengan hadirnya kadar tinggi dari unsur Cu, Pb, Zn, As, dan Ag, serta terdapat mineral kovelit dan *dickite*, apabila mengacu pada

Hedenquist, dkk., 2000, maka tipe mineralisasi di daerah penelitian adalah *high sulfidation* dengan kedalaman *intermediate*.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kepada manajemen berserta seluruh keluarga PT Sumbawa Barat Mineral (SBM), yang telah memberikan izin sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik lancar dan diizinkan mempublikasikan hasil penelitian. Terima kasih juga kepada manajemen berserta seluruh pegawai Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) yang telah memberikan izin akses untuk melakukan preparasi dan analisis sampel batuan. Dan terimakasih kepada Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung (PEP B) yang telah membantu dalam mengerjakan penulisan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., 2023. Pengaruh Alterasi Hirdotermal Terhadap Mineralisasi Berdasarkan Data Mikroskopis Sampel Batuan Daerah Samoan Raboya, PT. Sumbawa Barat Mineral (SBM), Kecamatan Taliwang, Kabupaten Sumbawa Barat. Diploma thesis, Universitas Muhammadiyah Mataram. Indonesia.
- Carlile, J.C., & Mitchell, A.H.G. 1994. *Magmatic Arc and Assosiated Gold and Copper Mineralization in Indonesia*. Amsterdam: Elsevier. Netherland.
- Fisher, R. V. 1960. *Classification of Volcanic Breccias*, Geology Society of America Buletin. United States of America.
- Hamilton, W., 1979. *Tectonics of the Indonesian region*. Geology Journal. USGS report series, United States of America.
- Hedenquist, J. W., Arribas, A., Urien, Eliso. G., 2000. *Exploration for epithermal gold deposit*. Society Economic Geologist. University of Ottawa. Canada.
- Le Maitre, R., W., 2002. *Igneous Rocks A Classification and Glossary of Terms*. Geology Book. USGS and Cambridge University. United Kingdom.
- Macheyeki, A. S., 2020. *Applied Geochemistry Advance in Mineral Exploration Techniques*. Geology Book. Earth Sciences Institute of Shinyanga, Tanzania.
- Munasir, 2012. *Uji XRD dan XRF Pada Bahan Meneral (Batuan dan Pasir) Sebagai Sumber Material Cerdas*. Universitas Negeri Surabaya. Indonesia.
- Pettijhon, F., J., 1975. *Sedimentary Rocks Third Edition*. Geology Book. The Johns Hopkins University Baltimore. United States of America.
- Prajono, F., 2009. *Hydrothermal Processes and Mineral System*. Geology Book. Geological Survey Of Western Australia. Australia.
- Sudrajat, S., Mangga, A., Suwarna, N., 1998. *Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusatenggara*. Geology Map. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Indonesia.
- Syuhada, S., Hananto N., D., Abdullah C., I., 2016. *Crustal structure along Sunda-Banda Arc transition zone from teleseismic receiver functions*. Geology Journal. Springer International Publishing.



**PRAKIRAAN POTENSI DAN UTILISASI ENERGI PANAS BUMI UNTUK PEMANFAATAN LANGSUNG DI PROSPEK LELES, CIANJUR, JAWA BARAT****THE POTENTIAL AND UTILIZATION OF GEOTHERMAL ENERGY ASSESSMENT FOR DIRECT UTILIZATION IN THE LELES PROSPECT, CIANJUR, WEST JAVA****Husin Setia Nugraha<sup>1</sup>, Rina Wahyuningsih<sup>1</sup>, Dede Iim<sup>1</sup>, dan Dadan Wildan<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Indonesia<sup>2</sup> Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, IndonesiaEmail korespondensi: [husin.nugraha@esdm.go.id](mailto:husin.nugraha@esdm.go.id)

Diterima: 24 Juni 2024; Direvisi: 31 Juli 2024; Disetujui: 30 November 2024

DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.483>**ABSTRAK**

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles, Kabupaten Cianjur. Kegiatan ini sekaligus menerapkan petunjuk teknis tata cara perhitungan potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung yang diterbitkan oleh Badan Geologi. Prospek Leles memiliki delapan sumber panas untuk pemanfaatan langsung energi panas bumi yang terdiri dari lima manifestasi mata air panas, satu sumur bor air panas dan dua kolam pemandian air panas. Dengan dua kolam dikategorikan sebagai utilisasi dengan kapasitas terpasang dari satu mata air panas dengan cadangan terbukti. Sedangkan sisa lima mata air panas masih dikategorikan sumber daya terukur. Total kapasitas terpasang dua kolam air panas adalah sebesar 38,85 kW<sub>t</sub> dengan utilisasi tahunan sebesar 1,23 TJoule per tahun atau ~0,34 GW<sub>h</sub> per tahun dengan perkiraan faktor kapasitas sebesar 33,3%. Dengan kapasitas tersebut rasio kapasitas terpasang terhadap cadangan terbukti masih sangat kecil hanya sebesar 1,41%. Sedangkan total potensi Prospek Leles adalah 3,3 MW<sub>t</sub> dengan rincian cadangan terbukti sebesar 2.592 kW<sub>t</sub> dan sumber daya terukur sebesar 704 kW<sub>t</sub>. Rekomendasi untuk pemanfaatan langsung adalah untuk menambah instalasi utilisasi baik secara paralel bisa dibuat kolam dengan peruntukan yaitu untuk berenang, berendam dan *whirlpool* dan secara *cascading* dengan akuakultur seperti untuk udang atau lele.

**Kata kunci:** panas bumi, penghitungan potensi, pemanfaatan langsung, Leles, Cianjur**ABSTRACT**

*This research activity aims to estimate the potential and utilization of geothermal energy for direct use in Prospect Leles, Cianjur Regency, by applying technical instructions on calculating the potential and utilization of geothermal energy for direct use. The Leles prospect has eight heat sources for direct utilization of geothermal energy: five hot springs, one hot water drilled well, and two hot water bathing pools. Two pools are categorized as utilized, with the installed capacity of one hot spring with proven reserves. Meanwhile, the remaining five hot springs are still categorized as measurable resources. The total installed capacity of the two hot spring pools is 38.85 kW<sub>t</sub> with an annual utilization of 1.23 TJoules per year or ~0.34 GW<sub>h</sub> per year with an estimated capacity factor of 33.3%. With this capacity, the ratio of installed capacity to*

*proven reserves is still very small, only 1.41%. Meanwhile, the total potential of the Leles Prospect is 3.3 MW<sub>t</sub> with details of proven reserves of 2,592 kW<sub>t</sub> and measured resources of 704 kW<sub>t</sub>. The recommendation for direct use is to increase the utilization installation, either in parallel, a pool can be made for swimming, bathing, and a jacuzzi, and in cascading with aquaculture, such as shrimp or catfish.*

**Keywords:** geothermal, potential calculation, direct use, Leles, Cianjur

## PENDAHULUAN

Energi panas bumi secara umum dapat dimanfaatkan dengan dua cara yaitu secara tidak langsung (*indirect use*) menghasilkan energi listrik dan secara langsung (*direct use*). Di Indonesia pemanfaatan sebagai pembangkit listrik telah menghasilkan kapasitas terpasang sebesar 2.378,13 MW<sub>e</sub> (Direktorat panas Bumi, 2023). Kapasitas terpasang ini menjadikan Indonesia sebagai produsen listrik dari panas bumi nomer dua di dunia setelah Amerika Serikat. Sedangkan, utilisasi dan potensi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung masih belum tercatat dengan baik.

Lund and Toth (2021) mencatat utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Indonesia sebesar 2,3 MW<sub>t</sub> dengan utilisasi tahunan sebesar 42,6 TJoule dengan faktor kapasitas 0,587. Nilai utilisasi tersebut sebagian besar berasal dari utilisasi untuk pemandian. Sedangkan, JICA (2016) memperkirakan bahwa utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung sebesar 690,1 MW<sub>t</sub> dengan rincian 543,8 MW<sub>t</sub> dari utilisasi pemandian dan 147,1 MW<sub>t</sub> untuk utilisasi selain pemandian. Badan Geologi telah mengeluarkan beberapa laporan hasil studi perkiraan nilai sumber daya tersebut mulai dari tahun 2021 sampai 2023 untuk beberapa wilayah. Hasil perkiraan sumber daya energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Pulau Jawa, Pulau Kalimantan Bagian Timur, dan Pulau Sumatera Bagian Utara masing-masing sebesar 31,6 MW<sub>t</sub>, 6,3 MW<sub>t</sub> dan 97 MW<sub>t</sub> (PSDMPB, 2021a, PSDMPB, 2021b, PSDMPB, 2022, PSDMPB, 2023). Sebelumnya, Nugraha et al. (2015) telah memperkirakan potensi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Provinsi

Jawa Barat dan Provinsi Banten masing-masing sebesar 64,75 MW<sub>t</sub> dan 7,19 MW<sub>t</sub>. Pemanfaatan ini dengan perkiraan utilisasi tahunan masing-masing sebesar 148,64 TJoule dan 40,64 TJoule.

Pada tahun 2024, Badan Geologi menetapkan petunjuk teknis tata cara perhitungan potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung. Sebelum ada petunjuk teknis tersebut, perkiraan potensi dan utilisasi pemanfaatan langsung menggunakan metode perhitungan kehilangan panas dari manifestasi (PSDMPB, 2021a, PSDMPB, 2021b, PSDMPB, 2022, PSDMPB, 2023). Sebelum ada petunjuk teknis tersebut, tidak ada petunjuk tata cara perhitungan potensi yang baku, klasifikasi dan definisi istilah potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung ini.

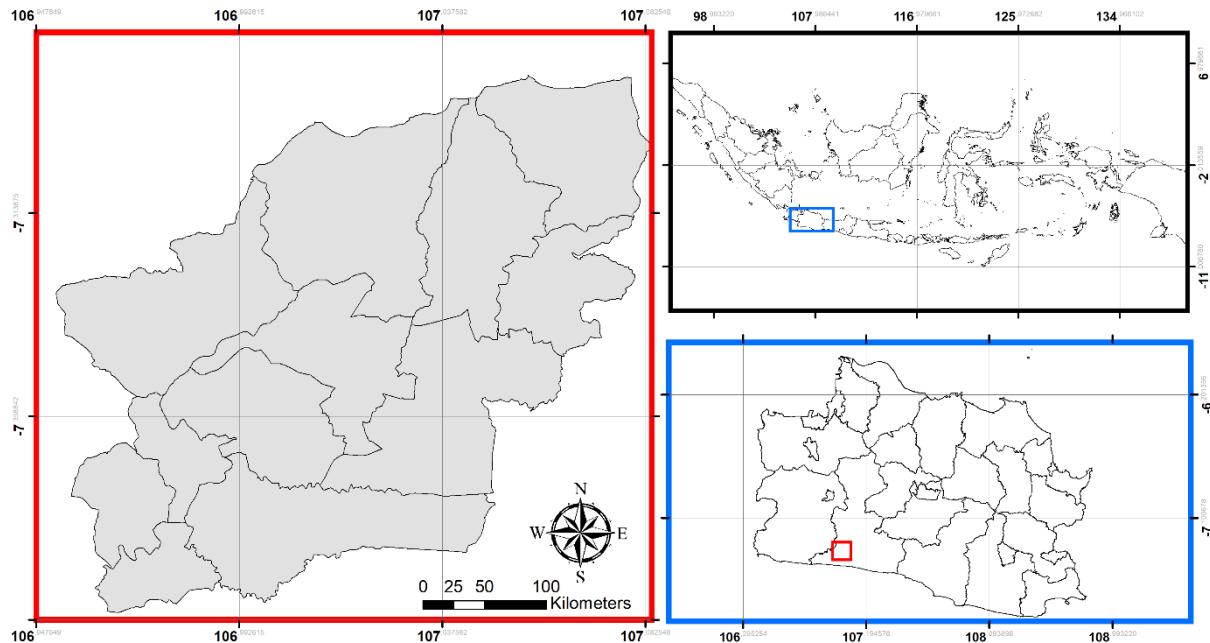
Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles, Kabupaten Cianjur. Perkiraan potensi dan utilisasi tersebut dilakukan berdasarkan petunjuk teknis yang telah diterbitkan oleh Badan Geologi. Perkiraan potensi dan utilisasi tersebut diharapkan dapat mengoptimalkan sumber daya, cadangan dan kapasitas terpasang di Prospek Leles, Kabupaten Cianjur.

Area studi untuk penelitian ini berada di Kecamatan Leles, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat (**Gambar 1**). Total luas wilayah Kecamatan Leles sebesar 112 km<sup>2</sup> yang terdiri dari 12 desa. Desa tersebut antara lain Pusakasari, Nagasari, Sukajaya, Sukamulya, Purabaya, Sukasirna, Walahir, Puncakwangi, Sirkasari, Karyamukti, Mandala Wangi dan Sindangsari.

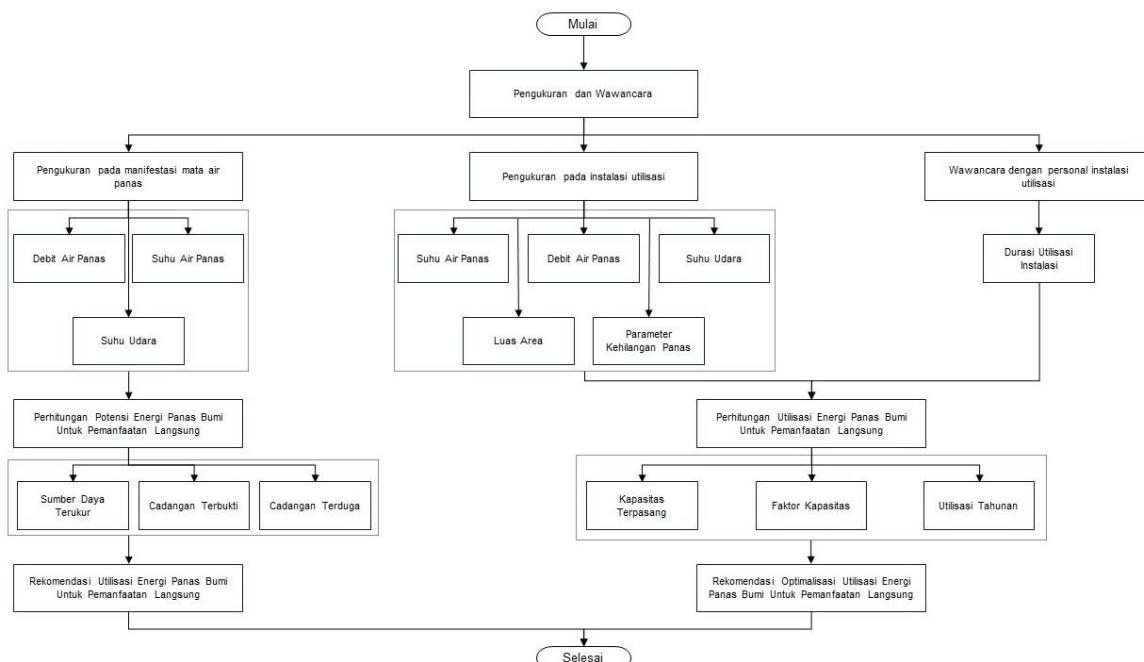
## METODOLOGI

Metodologi dibagi menjadi tiga tahap yaitu pengukuran dan wawancara; perhitungan potensi dan utilisasi; dan rekomendasi utilisasi atau optimalisasi utilisasi. Pengukuran dilakukan pada manifestasi dan instalasi utilisasi. Wawancara dilakukan kepada personil penjaga

dan/atau pengurus instalasi dan utilisasi. Perhitungan potensi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung berupa sumber daya terukur dan cadangan terbukti. Sedangkan perhitungan utilisasi berupa perhitungan kapasitas terpasang, faktor kapasitas dan utilisasi tahunan (**Gambar 2**).



**Gambar 1.** Area studi di Kecamatan Leles, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat



**Gambar 2.** Bagan alir metodologi penelitian perhitungan potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles

## Pengukuran di manifestasi air mata panas

Pengukuran suhu udara, suhu dan debit air panas dilakukan sebanyak seratus hanya pada salah satu mata air panas. Sedangkan untuk sumber panas lain dilakukan satu kali pengukuran. Seratus pengukuran dilakukan selama tiga hari. Setiap hari dilakukan pengukuran selama delapan jam dengan selang waktu 10 menit. Tujuan dari pengukuran sebanyak itu adalah untuk mendapatkan gambaran distribusi data pada masing-masing parameter. Distribusi data tersebut akan digunakan dalam perhitungan dengan pendekatan stokastik metode simulasi *Monte Carlo* untuk perkiraan cadangan terbukti dan utilisasi.

## Pengukuran di instalasi utilisasi

Pengukuran di instalasi utilisasi dapat dibagi menjadi dua yaitu pengukuran parameter utama dan parameter pendukung. Parameter utama merupakan parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan energi panas total. Parameter tersebut antara lain suhu udara, suhu dan debit air pada instalasi. Sedangkan parameter pendukung merupakan parameter yang dibutuhkan untuk perhitungan kehilangan panas (*heat loss*) pada instalasi. Parameter yang perlu diukur antara lain tekanan parsial uap air, kecepatan angin dan luas area instalasi.

## Wawancara dengan personil instalasi utilisasi

Pengambilan data dengan wawancara dilakukan untuk mendapatkan data durasi utilisasi dan utilisasi selama ini. Data durasi akan dipergunakan dalam perhitungan faktor kapasitas. Sedangkan data utilisasi dipergunakan dalam analisis utilisasi sehingga dapat memberikan rekomendasi (optimalisasi) utilisasi yang lain.

## Perhitungan sumber daya terindikasi

Sumber daya terindikasi (*indicated resources*) adalah nilai potensi energi panas bumi pada suatu (kluster) titik manifestasi dan/atau sumur panas bumi yang hanya memiliki data/informasi suhu fluida panas bumi namun belum tersedia

data/informasi untuk kajian kelayakan utilisasi yang cukup dan memadai. Jadi perhitungan sumber daya terindikasi dapat menggunakan **Formula 1** (Badan Geologi, 2024).

$$Q_{sd-i} = 0,0067 \times \Delta T \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

dengan

$$\Delta T = (T_{a-m} - T_{bb}) \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

Jika,

$T_{u-m} > 35^\circ\text{C}$ ; maka  $T_{bb} = T_{u-m}$ ; atau  $T_{u-m} \leq 35^\circ\text{C}$ ; maka  $T_{bb} = 35^\circ\text{C}$ ; dan  $\Delta T > 25^\circ\text{C}$ ; maka  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ .

dimana,

- $Q_{sd-i}$  = sumber daya terindikasi ( $MW_t$ );
- $T_{a-m}$  = suhu fluida di manifestasi/sumur yang dapat digunakan untuk utilisasi pemanfaatan langsung ( $^\circ\text{C}$ );
- $T_{bb}$  = suhu batas bawah untuk utilisasi pemanfaatan langsung ( $^\circ\text{C}$ );
- $T_{u-m}$  = suhu udara di area sekitar manifestasi/sumur ( $^\circ\text{C}$ ).

## Perhitungan sumber daya terukur

Sumber daya terukur (*measured resources*) adalah nilai potensi energi panas bumi pada suatu (kluster) titik manifestasi dan/atau sumur panas bumi yang hanya memiliki data/informasi suhu dan debit fluida panas bumi namun belum tersedia data/informasi untuk kajian kelayakan utilisasi yang cukup dan memadai. Perhitungan sumber daya terukur menggunakan **Formula 3** (Badan Geologi, 2024).

$$Q_{sd-u} = 0,0041 \times m_{a-m} \times \Delta T \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Dengan formula dan ketentuan untuk  $\Delta T$  sama dengan formula ketentuan untuk  $\Delta T$  pada Formula 2.

dimana,

$$Q_{sd-u} = \text{sumber daya terukur} (MW_t);$$

### Perhitungan cadangan terduga

Cadangan terduga (*possible reserves*) adalah nilai potensi energi panas bumi pada suatu (kluster) titik manifestasi dan/atau sumur panas bumi yang telah dinyatakan layak berdasarkan kajian kelayakan cadangan namun belum terpasang instalasi utilisasi yang menggunakan sumber panas fluida manifestasi/sumur panas bumi tersebut. Data yang dipergunakan dalam perhitungan menggunakan **Formula 4** merupakan perkiraan hasil kajian kelayakan cadangan (Badan Geologi, 2024, Nugraha et al., 2024).

$$Q_{cd-d} = 0,0041 \times \dot{m}_{a-m} \times \Delta T \quad \dots\dots\dots(4)$$

dimana,

$$\Delta T = (T_{a-m} - T_{a-u}) \quad \dots\dots\dots(5)$$

Jika,

$\Delta T > 25^\circ\text{C}$ ; maka  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ .

dimana,

$$\begin{aligned} Q_{cd-d} &= \text{cadangan terduga (MW}_t\text{)}; \\ T_{a-m} &= \text{suhu fluida di manifestasi/sumur yang dapat digunakan untuk utilisasi pemanfaatan langsung (}^\circ\text{C)}; \\ T_{a-u} &= \text{suhu fluida dibutuhkan untuk utilisasi pemanfaatan langsung (}^\circ\text{C)}; \end{aligned}$$

### Perhitungan cadangan terbukti

Cadangan terbukti (*proved reserves*) adalah nilai potensi energi panas bumi pada suatu (kluster) titik manifestasi atau (kluster) sumur panas bumi yang telah terpasang instalasi utilisasi pemanfaatan langsung menggunakan sumber panas fluida manifestasi/sumur panas bumi tersebut. Jadi suhu batas bawah dapat diperkirakan dari di titik outlet instalasi utilisasi pemanfaatan langsung ( $T_{a-i-out}$ ) (Badan Geologi, 2024,).

$$Q_{cd-b} = 0,0041 \times \dot{m}_{a-m} \times \Delta T \quad \dots\dots\dots(6)$$

dengan,

$$\Delta T = (T_{a-m} - T_{a-i-out}) \quad \dots\dots\dots(7)$$

Jika,

$\Delta T > 25^\circ\text{C}$ ; maka  $\Delta T = 25^\circ\text{C}$ .

dimana,

$$\begin{aligned} Q_{cd-b} &= \text{cadangan terbukti (MW}_t\text{)}; \\ T_{a-m} &= \text{suhu fluida di manifestasi/sumur yang digunakan untuk utilisasi pemanfaatan langsung (}^\circ\text{C)}; \\ T_{a-i-out} &= \text{suhu fluida di titik outlet instalasi utilisasi pemanfaatan langsung (}^\circ\text{C)}; \end{aligned}$$

### Perhitungan kapasitas terpasang

Kapasitas terpasang instalasi pemanfaatan langsung adalah nilai energi panas yang dapat dimanfaatkan dalam suatu instalasi pemanfaatan langsung. Nilainya adalah pengurangan dari nilai energi panas total ( $Q_i$ ) dikurangi nilai kehilangan panas total pada suatu instalasi ( $Q_{kp}$ ). Nilai kehilangan panas total ini adalah nilai energi panas yang hilang atau tidak dimanfaatkan karena suatu proses tertentu. Proses-proses tersebut antara lain karena proses radiasi, konduksi dan pengaruh hujan; evaporasi; dan konveksi (Badan Geologi, 2024).

Formula untuk perhitungan kapasitas terpasang.

$$Q_{kt} = Q_i - Q_{kp} \quad \dots\dots\dots(8)$$

dengan,

$$Q_i = 0,0041 \times \dot{m}_{a-i-in} \times (T_{a-i-in} - T_{a-i-out}) \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$Q_{kp} = Q_{kp-k} + Q_{kp-e} + Q_{kp-rkh} \quad \dots\dots\dots(10)$$

dimana,

$$\begin{aligned} Q_{kt} &= \text{kapasitas terpasang (MW}_t\text{)}; \\ Q_i &= \text{energi panas total pada instalasi utilisasi (MW}_t\text{)}; \\ Q_{kp} &= \text{kehilangan panas total pada instalasi utilisasi (MW}_t\text{)}; \end{aligned}$$

# MAKALAH ILMIAH

$\dot{m}_{a-i-in}$	= debit fluida di titik inlet instalasi utilisasi pemanfaatan langsung (liter/detik);
$T_{a-i-in}$	= suhu fluida di titik inlet instalasi utilisasi pemanfaatan langsung ( $^{\circ}\text{C}$ );
$T_{a-i-out}$	= suhu fluida di titik outlet instalasi utilisasi pemanfaatan langsung ( $^{\circ}\text{C}$ );
$Q_{kp-k}$	= kehilangan panas karena konveksi ( $\text{MW}_t$ );
$Q_{kp-e}$	= kehilangan panas karena evaporasi ( $\text{MW}_t$ );
$Q_{kp-rkh}$	= kehilangan panas karena radiasi, konduksi dan pengaruh hujan ( $\text{MW}_t$ ).

dengan formula kehilangan panas karena evaporasi (Sezar, 2017) dalam (Badan Geologi, 2024) sebagai berikut:

$$Q_{kp-e} = (1,56 \times K_e + 2,93 \times v_{u-i}) \times (e_w - e_a) \quad \dots \dots \dots (11)$$

dimana:

$Q_{kp-e}$	= kehilangan panas karena evaporasi ( $\text{W/m}^2$ );
$e_w$	= tekanan parsial uap air di permukaan (mbar);
$e_a$	= tekanan parsial uap air di udara (mbar);
$v_{u-i}$	= kecepatan angin di atas permukaan tanah ( $\text{m/detik}$ );
$K_e$	= konstanta empiris evaporasi ( $\text{W/m}^2\text{C}$ );
$K_e$	= $3,89 + 0,17 \times (T_w - T_a)$ ;

Dan formula kehilangan panas karena konveksi (Sezar, 2017) dalam (Badan Geologi, 2024) sebagai berikut:

$$Q_{kp-k} = h_c \times (T_w - T_a) \quad \dots \dots \dots (12)$$

dimana:

$Q_p$	= pemanfaatan dalam satu tahun ( $\text{GW}_h/\text{tahun}$ ) atau ( $\text{TJoule}/\text{tahun}$ );
$T_{a-i}$	= suhu air pada instalasi utilisasi pemanfaatan langsung ( $^{\circ}\text{C}$ );

$T_{u-i}$	= suhu udara pada instalasi utilisasi pemanfaatan langsung ( $^{\circ}\text{C}$ ).
$h_c$	= koefisien perpindahan panas karena konveksi ( $\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
$h_c$	= $K_k + 1,88 \times v_{u-i}$ ;
$K_k$	= konstanta empiris aliran konveksi ( $\text{W/m}^2\text{C}$ );
$K_k$	= $3,89 + 0,17 \times (T_{a-i} - T_{u-i})$ ;

$$Q_{kp-rkh} = 0,1 \times (Q_{kp-e} + Q_{kp-k}) \quad \dots \dots \dots (13)$$

## Perhitungan faktor kapasitas

Faktor kapasitas adalah nilai indeks perbandingan antara utilisasi energi panas yang telah dimanfaatkan dengan energi panas yang dapat dihasilkan pada satu instalasi dalam durasi satu tahun (Badan Geologi, 2024).

$$F_k = \frac{t_p}{t_{maks}} = \frac{t_p}{8.760} \quad \dots \dots \dots (14)$$

$F_k$	= faktor kapasitas (fraksi);
$t_p$	= durasi waktu utilisasi instalasi efektif dalam satu tahun (jam).

## Perhitungan utilisasi tahunan

Utilisasi tahunan adalah total energi panas yang telah dimanfaatkan pada satu instalasi utilisasi pemanfaatan langsung dalam satu tahun. Perhitungan nilai utilisasi tahunan merupakan perkalian antara nilai kapasitas terpasang dengan faktor kapasitas pada tahun tersebut. Dua formula (**Formula 15** dan **16**) dapat dipergunakan dengan keluaran satuan yang berbeda yaitu  $\text{GW}_h/\text{tahun}$  atau  $\text{TJoule}/\text{tahun}$  (Badan Geologi, 2024).

Berikut adalah formula untuk utilisasi tahunan:

$$Q_{ut}^* = 8,77 \times Q_{kt} \times F_k \quad \dots \dots \dots (15)$$

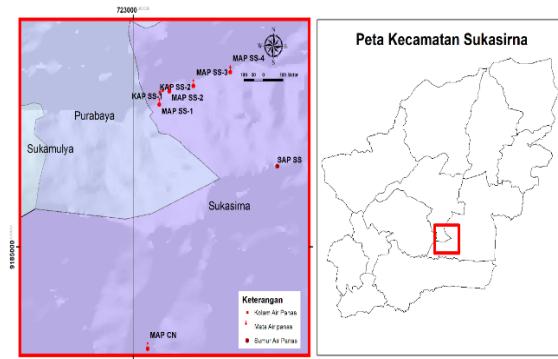
$$Q_{ut}^{**} = 31,54 \times Q_{kt} \times F_k \quad \dots \dots \dots (16)$$

$Q_{ut}$	= utilisasi dalam satu tahun ( $GW_h/tahun$ ) atau ( $TJoule/tahun$ );
$Q_{kt}$	= kapasitas terpasang ( $MW_t$ );
$F_k$	= faktor kapasitas (fraksi);
*	= satuan dalam $GW_h/tahun$ ;
**	= satuan dalam $TJoule/tahun$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### HASIL

Pada Prospek Leles ini terdapat delapan sumber panas untuk pemanfaatan langsung energi panas bumi yang terdiri dari lima manifestasi mata air panas, satu sumur bor air panas dan dua kolam pemandian air panas dengan distribusi lokasi sebagaimana tercantum pada peta di **Gambar 3**. Semua mata air panas, sumur dan kolam air panas tersebut berada di satu desa yaitu Desa Sukasirna. Untuk analisis selanjutnya mata air panas diberikan kode MAP SS-1, MAP SS-2, MAP SS-3, MAP SS-4, MAP CN, sumur air panas dengan kode SAP SS dan kolam air panas kode KAP SS-1 dan KAP SS-2.



**Gambar 3** Lokasi delapan sumber panas untuk pemanfaatan langsung energi di Prospek Leles

### Hasil pengukuran pada manifestasi air panas

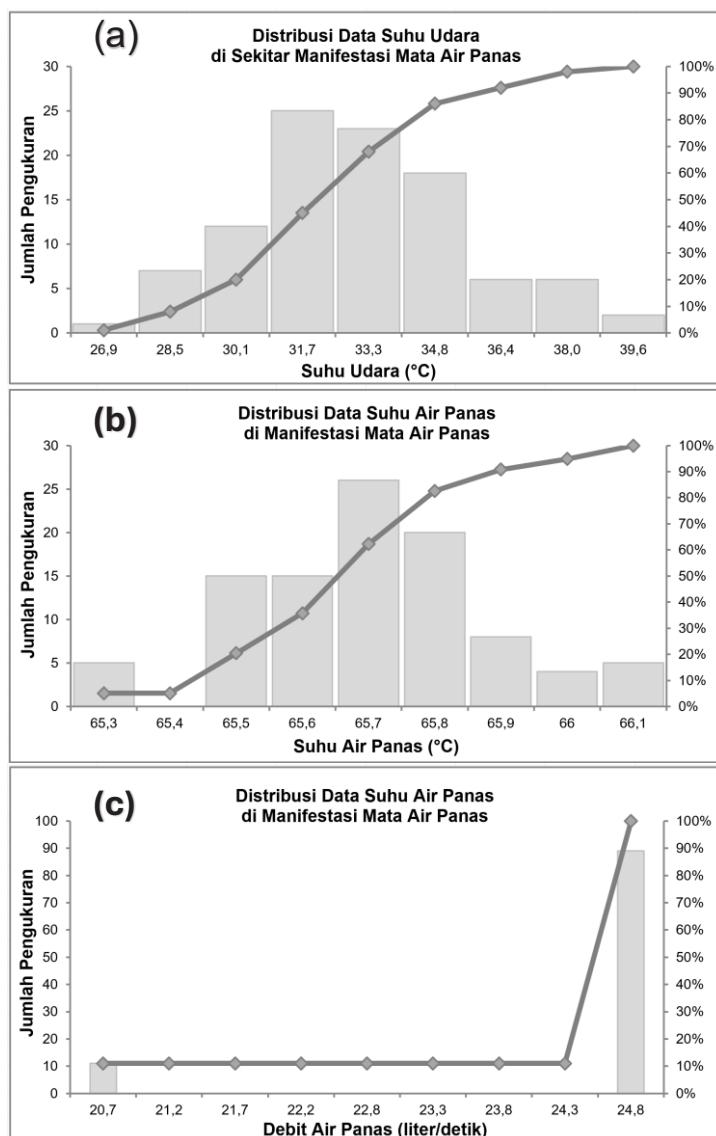
Pada manifestasi tersebut dilakukan pengukuran parameter dengan tujuan berbeda yaitu perhitungan potensi (sumber daya terduga dan cadangan terbukti) dan

perhitungan utilisasi (kapasitas terpasang, faktor kapasitas, dan utilisasi tahunan). Pengukuran pada MAP SS-1 dilakukan untuk perhitungan cadangan terbukti karena mata air panas ini telah digunakan utilisasi pada instalasi. Sedangkan pada MAP SS-2, MAP SS-3, MAP SS-4, MAP CN dan SAP SS pengukuran untuk sumber daya terduga. Pada hasil pengukuran pada KAP SS-1 dan KAP SS-2 digunakan untuk perhitungan utilisasi. Pada MAP SS-1, pengukuran dilakukan sebanyak 100 kali untuk perhitungan dengan pendekatan stokastik, sedangkan untuk sumber panas lain, pengukuran dilakukan satu kali.

### MAP SS-1

Berdasarkan bentuk histogram distribusi data parameter hasil pengukuran di manifestasi mata air panas didapatkan bentuk distribusi data normal dan segitiga. Bentuk distribusi normal didapat untuk data suhu udara dan suhu air panas. Dengan nilai yang diwakili *skewness* dan *kurtosis* di antara 0,3-0,6. Sedangkan untuk data debit air panas berbentuk distribusi data tidak kontinu yang dapat diinterpretasikan sebagai bentuk distribusi data segitiga sebagaimana dapat dilihat pada **Gambar 4**. Nilai maksimum, minimum adalah 20,7 dan 24,8 liter/detik. Dengan nilai *most-likely* diambil nilai modus yang sama dengan nilai maksimumnya yaitu 24,8 liter/detik.

Berdasarkan analisis statistik deskriptif didapatkan bentuk distribusi data normal dengan nilai rata-rata sebesar 32,3°C dan 65,6°C untuk suhu udara dan suhu air di mata air panas. Sedangkan simpangan baku bernilai 2,6°C dan 0,2°C untuk parameter-parameter tersebut. Pada data suhu air tersebut, terdapat dua nilai pencilan yaitu 66,6°C dan 66,3°C berdasarkan penentuan menggunakan metode rata-rata dan tiga kali standar deviasi ( $\mu+3\sigma$ ). Kedua nilai tersebut dikeluarkan dari data yang dianalisis selanjutnya sehingga banyak data berjumlah 98 buah. Deskripsi data statistik selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 1**.



**Gambar 4.** Distribusi data parameter hasil pengukuran di manifestasi mata air panas

**Tabel 1.** Statistik deskriptif parameter hasil pengukuran di Mata Air Panas SS-1 (MAP SS-1)

No.	Parameter	Suhu Udara	Suhu Air	Debit Air
1.	Rata-rata	32,3°C	65,6°C	24,2 l/dtk
2.	Nilai Tengah	31,8°C	65,6°C	24,7 l/dtk
3.	Modus	31,8°C	65,6°C	24,7 l/dtk
4.	Simpangan Baku	2,6°C	0,2°C	1,3 l/dtk
5.	Jangkauan	12,7°C	0,8°C	4,1 l/dtk
6.	Minimum	26,9°C	65,3°C	20,6 l/dtk
7.	Maksimum	39,6°C	66,1°C	24,7 l/dtk
8.	Jumlah	3.215,2	6.430	2.426,7
9.	Banyak Data	100	98	100

### MAP SS-2, MAP SS-3, MAP SS-4, MAP CN dan SAP SS

Air panas pada kluster titik Sukasirna (SS) memiliki suhu cukup tinggi ( $> 60^{\circ}\text{C}$ ) dengan debit yang besar pada salah satu mata air panas (MAP SS-1). Sedangkan pada mata

air panas yang lain debitnya tidak terlalu besar. Hanya pada satu mata air panas (MAP SS-4) yang memiliki debit lebih dari 2 liter per detik sehingga memenuhi persyaratan awal untuk dapat dilakukan studi kelayakan cadangan.

**Tabel 2.** Hasil pengukuran parameter sumber panas untuk pemanfaatan langsung energi panas bumi di Prospek Leles

No.	Jenis Manifestasi	Nama	Kode Sampel	Koordinat			Suhu Udara (°C)	Suhu Air (°C)	pH	Debit liter/dtk	DHL <sup>1)</sup>	TPT <sup>2)</sup>
				X	Y	Z						
1.	Mata air panas	AP Sukasirna-1	MAP SS-1	723133	9185615	76	32,3	65,6	7,3	24,2	3.740	2.470
2.	Mata air panas	AP Sukasirna-2	MAP SS-2	723185	9185671	71	31,2	60,0	7,3	1,1	4.140	2.750
3.	Mata air panas	AP Sukasirna-3	MAP SS-3	723308	9185694	73	31,7	60,1	7,1	0,9	4.440	2.950
4.	Mata air panas	AP Sukasirna-4	MAP SS-4	723497	9185752	74	31,8	64,9	7,3	3	3.690	2.510
5.	Mata air panas	AP Cinangka	MAP CN	723074	9184588	68	26,1	57,3	6,9	1,6	4.111	2.740
6.	Sumur air panas	AP Sumur Bor	SAP SS	723738	9185340	178	31,2	55,0	7,1	0,1	749	505

<sup>1)</sup>TPT: Total Padatan Terlarut

<sup>2)</sup>DHL: Daya Hantar listrik

### Hasil pengukuran pada instalasi utilisasi

Perbedaan suhu air panas hasil pengukuran antara inlet dan outlet untuk kolam air panas besar dan kecil berturut 20,9°C dan 21,6°C. Suhu pada inlet kolam air panas besar dan kecil adalah 60°C dan 58,4°C. Sedangkan rata-rata suhu air panas dalam kolam adalah 55,1°C dan 48,1°C untuk kolam besar dan kecil. Untuk suhu udara di sekitar kolam lebih rendah dibandingkan suhu di sekitar manifestasi, yaitu sebesar 29,8°C dan 30,2°C. Parameter lain yang diukur pada instalasi ini adalah debit pada inlet, yaitu sebesar 0,57 liter/detik dan 0,1 liter per detik. Untuk pengukuran debit dengan penggunaan flowmeter dengan ketelitian 0,1 meter per detik.

Pengukuran parameter-parameter kehilangan panas tidak dapat dilakukan karena keterbatasan alat yang ada. Sebagai contoh untuk parameter kecepatan angin, peralatan yang dibawa tidak dapat mengukur kecepatan angin karena kecepatan angin di instalasi masih di bawah ambang batas pengukuran sebesar 0,1 m/detik. Sedangkan untuk parameter tekanan parsial tidak dapat diukur karena tidak ada alat pengukur.

### Hasil wawancara dengan petugas instalasi utilisasi

Petugas menyampaikan bahwa durasi utilisasi kolam air panas adalah selama ±8 jam per hari. Kolam mulai didatangi pengunjung mulai dari pukul 7.00 sampai dengan pukul 17.00. Sedangkan pada tengah hari, biasanya kolam kosong untuk beberapa jam 2-4 jam karena suhu udara yang panas di sekitar kolam. Selain itu, kecepatan angin yang rendah membuat udara panas di sekitar kolam tidak dapat hilang dengan cepat. Durasi utilisasi ini dipergunakan untuk menghitung nilai faktor kapasitas (*capacity factor*) untuk utilisasi pada kedua kolam air panas ini.

### Hasil perhitungan potensi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung

Total potensi Prospek Leles adalah 3,3 MW<sub>t</sub> dengan rincian cadangan terbukti 2.592 kW<sub>t</sub> dan sumber daya terukur sebesar 704 kW<sub>t</sub> (**Tabel 3**). Cadangan terbukti berasal dari MAP SS-1 dan sumber daya terukur berasal dari MAP SS-2, MAP SS-3, MAP SS-4, MAP CN dan SAP SS. Cadangan terbukti MAP SS-1 karena telah dimanfaatkan utilisasi instalasi. Kelima sumber panas dihitung sebagai manifestasi dan sumur yang memiliki sumber daya terduga karena belum dilakukan studi kelayakan cadangan.

# MAKALAH ILMIAH

Hasil perhitungan cadangan dengan pendekatan stokastik metode simulasi monte carlo untuk MAP SS-1 menghasilkan nilai rata-rata  $2.592 \text{ kW}_t$  dengan standar deviasi  $111 \text{ kW}_t$ . Sedangkan nilai minimum, maksimum dan *most-likely* adalah sebesar  $2.234 \text{ kW}_t$ ,  $2.835 \text{ kW}_t$  dan  $2.671 \text{ kW}_t$ . Untuk nilai  $P_{10}$ ,  $P_{50}$ , dan  $P_{90}$  adalah sebesar  $2.427 \text{ kW}_t$ ,  $2.609 \text{ kW}_t$  dan  $2.725 \text{ kW}_t$  (**Gambar 5**).

## Hasil perhitungan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung

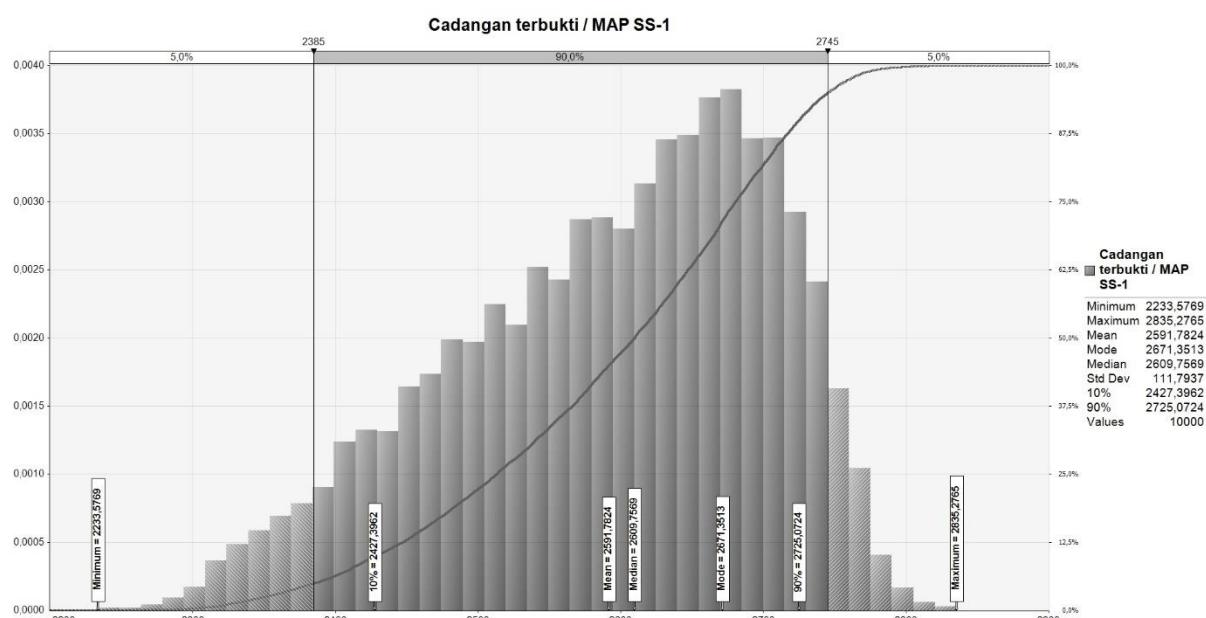
Hasil perhitungan simulasi monte carlo untuk MAP SS-1 menghasilkan nilai kapasitas terpasang rata-rata  $31,8 \text{ kW}_t$  dengan standar deviasi  $2,7 \text{ kW}_t$ . Sedangkan nilai minimum, maksimum dan *most-likely* adalah sebesar  $19,9 \text{ kW}_t$ ;  $41,3 \text{ kW}_t$  dan  $31,8 \text{ kW}_t$ . Untuk nilai  $P_{10}$ ,  $P_{50}$ , dan  $P_{90}$  adalah sebesar  $28,3 \text{ kW}_t$ ;  $31,9 \text{ kW}_t$  dan  $35,2 \text{ kW}_t$  (**Gambar 6**). Sedangkan nilai

rasio kapasitas terpasang terhadap cadangan terbukti adalah sebesar 1,16%. Dengan faktor kapasitas sebesar 33,3% maka utilisasi tahunan adalah sebesar  $1.01 \text{ TJoule}$  per tahun atau setara dengan  $\sim 0,28 \text{ GW}_h/\text{tahun}$  (**Tabel 4**).

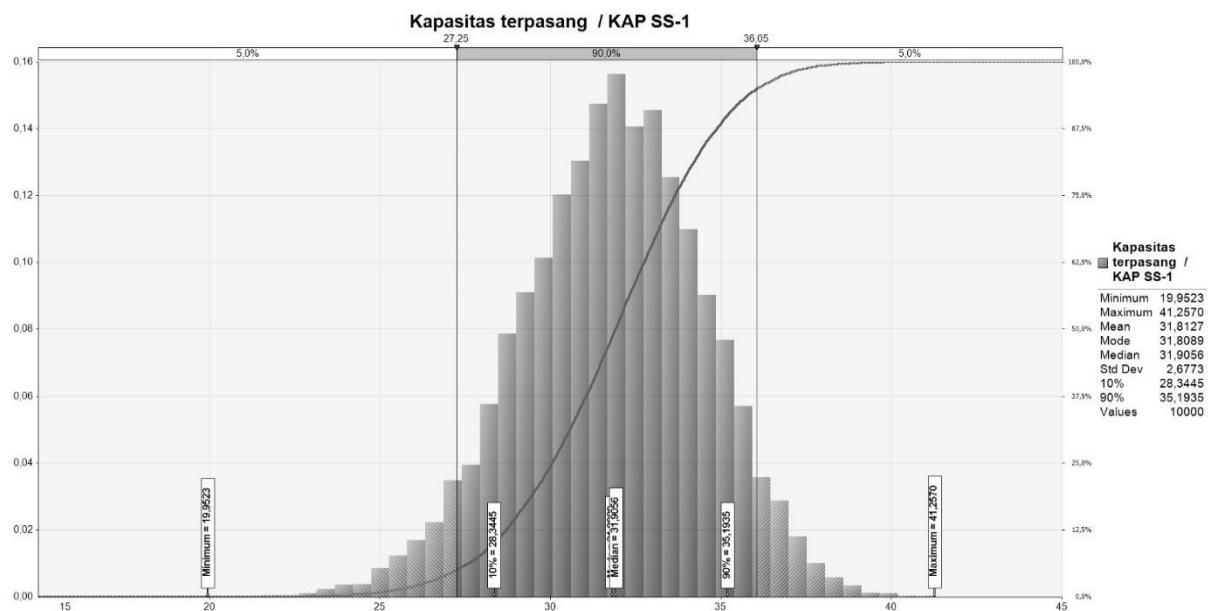
Sedangkan untuk kolam air panas kecil, KAP SS-2, memiliki kapasitas terpasang rata-rata sebesar  $6,9 \text{ kW}_t$  dengan standar deviasi  $0,4 \text{ kW}_t$ . Sedangkan nilai minimum, maksimum dan *most-likely* adalah sebesar  $4,6 \text{ kW}_t$ ,  $8,4 \text{ kW}_t$  dan  $6,9 \text{ kW}_t$ . Untuk nilai  $P_{10}$ ,  $P_{50}$ , dan  $P_{90}$  adalah sebesar  $6,4 \text{ kW}_t$ ,  $6,9 \text{ kW}_t$  dan  $7,5 \text{ kW}_t$  (**Gambar 7**). Nilai kapasitas terpasang tersebut hanya 0,25% jika dibandingkan dengan nilai cadangan terbukti. Sehingga dapat diperkirakan utilisasi tahunannya adalah sebesar  $0,22 \text{ TJoule/tahun}$  ( $\sim 0,06 \text{ GW}_h/\text{tahun}$ ) (**Tabel 4**).

**Tabel 3.** Hasil perhitungan potensi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles

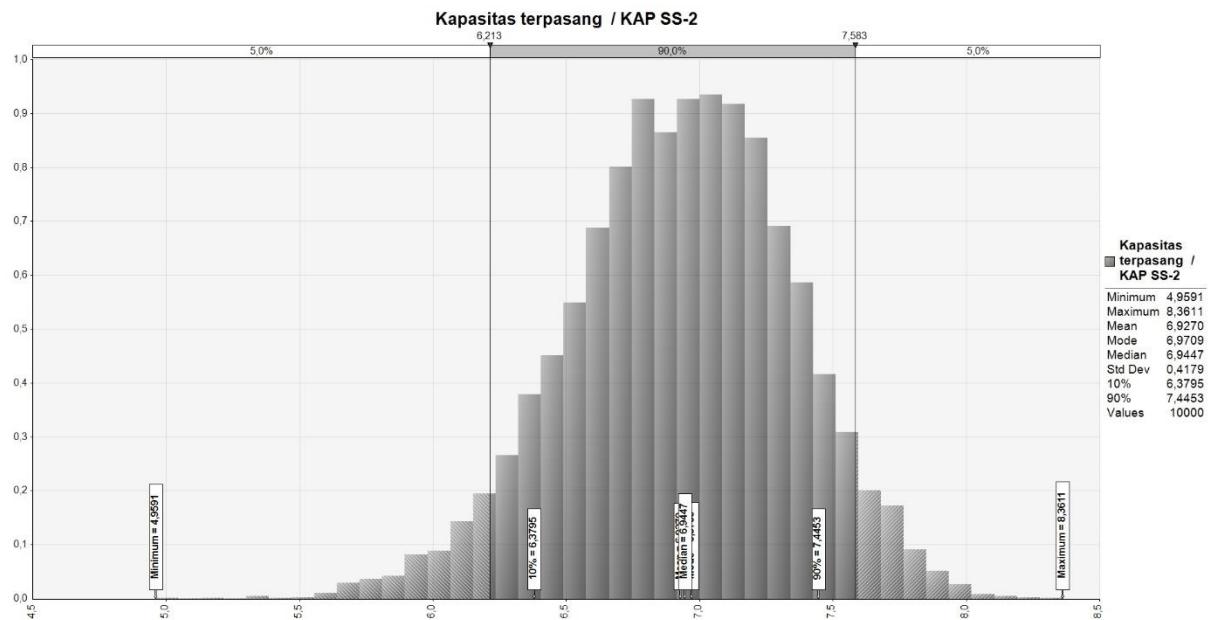
No.	Nama	Besar ( $\text{kW}_t$ )	Kelas
1.	MAP SS-1	2.592	Cadangan Terbukti
2.	MAP SS-2	116	Sumber daya Terukur
3.	MAP SS-3	95	Sumber daya Terukur
4.	MAP SS-4	315	Sumber daya Terukur
5.	MAP CN	168	Sumber daya Terukur
6.	SAP SS	10	Sumber daya Terukur



**Gambar 5.** Histogram hasil perhitungan cadangan terbukti MAP SS-1 dari hasil simulasi monte carlo dengan 10.000 kali percobaan



**Gambar 6.** Histogram hasil perhitungan kapasitas terpasang KAP SS-1 dari hasil simulasi monte carlo dengan 10.000 kali percobaan



**Gambar 7.** Histogram hasil perhitungan kapasitas terpasang KAP SS-2 dari hasil simulasi monte carlo dengan 10.000 kali percobaan

**Tabel 4.** Hasil perhitungan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles

No.	Nama	Kapasitas Terpasang	Rasio kapasitas per cadangan	Faktor kapasitas	Utilisasi tahunan	
		(kW <sub>t</sub> )	%	%	GW <sub>h</sub> /tahun	TJoule/tahun
1.	KAP SS-1	31,91	1,16	33,3	0,28	1,01
2.	KAP SS-2	6,94	0,25	33,3	0,06	0,22
	<b>Total</b>	<b>38,85</b>	<b>1,41</b>	<b>33,3</b>	<b>0,34</b>	<b>1,23</b>

# MAKALAH ILMIAH

## PEMBAHASAN

Potensi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles ini didominasi kelas cadangan terbukti pada MAP SS-1 yang telah di utilisasi pada KAP SS-1 dan KAP SS-2. Dengan patokan bahwa debit air panas yang dibutuhkan minimum sebesar 2 liter per detik, maka hanya satu sumber panas (MAP SS-4) yang dapat dilanjutkan ke tahap studi kelayakan cadangan. Sedangkan sisanya sumber panas lainnya harus dilakukan pengeboran sumur pemanfaatan langsung panas bumi sebelum dilakukan studi tersebut.

Utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles ini masih sangat kecil. Hal ini diperlihatkan dengan rasio kapasitas per cadangan total hanya 1,41%. Hal ini juga menunjukkan bahwa lebih dari 98% cadangan yang sudah terbukti belum dimanfaatkan. Bahkan dengan faktor kapasitas sebesar 33,3% maka utilisasi tersebut lebih kecil lagi. Dengan nilai faktor kapasitas tersebut utilisasi tahunan total dari dua kolam tersebut sebesar 1.23 Tjoule per tahun ( $\sim 0,34 \text{ GW}_h$  per tahun).

### Perbandingan dengan metode perhitungan sebelumnya

Hasil perhitungan menggunakan petunjuk teknis baru lebih tinggi dibandingkan antara menggunakan petunjuk teknis lama (**Tabel 5**). Hal ini kemungkinan karena perbedaan pendekatan perhitungan. Pada petunjuk teknis baru terdapat batasan perbedaan suhu dalam perhitungan yaitu maksimum sebesar  $25^\circ\text{C}$ , sedangkan pada petunjuk teknis lama tidak ada batasan. Perbedaan tersebut semakin besar untuk sumber panas yang memiliki debit fluida besar. Semakin besar debit fluida tersebut maka semakin besar perbedaan hasil perhitungannya. Untuk kelas potensi, karena pada petunjuk teknis lama belum ada klasifikasi potensi maka potensi diasumsikan memiliki kelas potensi yang sama. Dengan asumsi tersebut, maka hasil kedua perhitungan dapat dibandingkan.

**Tabel 5.** Perbandingan hasil perhitungan potensi menggunakan petunjuk teknis lama (PSDMBP, 2021a, PSDMBP, 2021b, PSDMBP, 2022, PSDMBP, 2023) dan petunjuk teknis baru di Prospek Leles

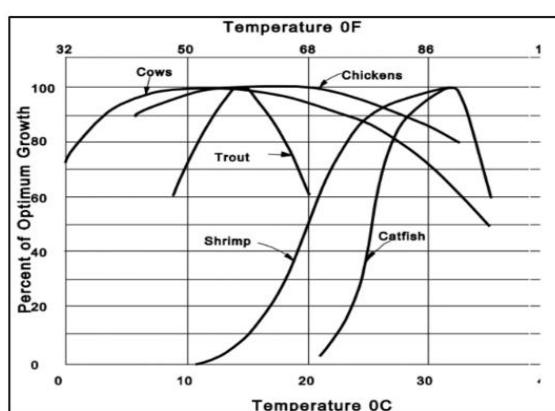
No.	Nama	Petunjuk Teknis Lama ( $\text{kW}_t$ )	Petunjuk Teknis Baru ( $\text{kW}_t$ )
1.	MAP SS-1	3.508	2.592
2.	MAP SS-2	133	116
3.	MAP SS-3	107	95
4.	MAP SS-4	417	315
5.	MAP CN	210	168
6.	SAP SS	10	10

Untuk kapasitas terpasang, hasil perhitungan menggunakan petunjuk teknis baru menghasilkan nilai kapasitas terpasang lebih rendah dibandingkan hasil perhitungan menggunakan petunjuk teknis lama (**Tabel 6**). Semakin besar debit fluida tersebut maka semakin besar perbedaan hasil perhitungannya. Sebagaimana telah dijelaskan di atas, bahwa pada petunjuk teknis lama tidak ada klasifikasi potensi dan tidak perhitungan khusus menghitung kapasitas terpasang. Maka untuk perhitungan menggunakan petunjuk teknis lama dilakukan dengan dua metode yaitu metode kehilangan panas karena konvektif dan evaporasi; dan aliran panas.

**Tabel 6.** Perbandingan hasil perhitungan kapasitas terpasang menggunakan petunjuk teknis lama dan petunjuk teknis baru di Prospek Leles

No.	Nama	Petunjuk Teknis Lama ( $\text{kW}_t$ )		Petunjuk Teknis Baru ( $\text{kW}_t$ )
		Kehilangan Panas	Aliran Konvektif & Evaporasi	
1.	KAP SS-1	177	345	32
2.	KAP SS-2	155	96	7

Optimalisasi utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung dapat dilakukan melalui dua hal yaitu menambah instalasi utilisasi baik secara paralel maupun *cascading*. Secara paralel membuat utilisasi baru baik berupa kolam renang, kolam berendam dan jacuzzi. Untuk berenang dengan nyaman sebaiknya di suhu 30°C-32°C, untuk berendam di suhu 35°C-38°C, dan untuk jacuzzi adalah 35°C-38°C (Pemanas Air Indonesia, 2019). Dengan suhu sebesar 65°C dan debit yang besar masih memungkinkan membuat kolam-kolam dan jacuzzi tersebut. Selain untuk rekreasi, dengan suhu yang ada, mata air ini bisa dimanfaatkan sebagai media hidroterapi untuk diabetes dan osteoarthritis yang membutuhkan suhu 38°C-42°C. Selain pemanfaatan secara paralel, multi-utilisasi secara *cascading* juga dapat dilakukan karena suhu output dari kolam masih mencapai 36°C-39°. Utilisasi tersebut antara lain untuk keperluan akuakultur seperti untuk udang atau lele yang akan tumbuh optimal di 31°C-33°C (Beall and Samuels, 1971) seperti terlihat pada **Gambar 8**. Sedangkan untuk penerapan di bidang pertanian, sumber panas prospek leles ini kurang cocok mengingat suhu udara yang cukup tinggi berkisar 32,2°C±2,6°C.



**Gambar 8.** Hubungan antara persentase pertumbuhan optimum hewan dengan suhu (Beall and Samuels, 1971)

## KESIMPULAN

Prospek Leles memiliki delapan sumber air panas untuk pemanfaatan langsung yaitu

lima manifestasi mata air panas, satu sumur bor air panas dan dua kolam pemandian air panas. Satu mata air panas kelas cadangan terbukti menghasilkan dua kolam dengan kategori kapasitas terpasang. Lima mata air panas lainnya masih dalam kelas sumber daya terukur.

Total kapasitas terpasang dua kolam air panas (KAP SS-1 dan KAP SS-2) sebesar 38,85 kW<sub>t</sub> dengan utilisasi tahunan mencapai 1,23 TJoule atau setara 0,34 GW<sub>h</sub> dengan perkiraan faktor kapasitas sebesar 33,3%. Rasio kapasitas terpasang terhadap cadangan terbukti masih sangat kecil hanya sebesar 1,41%.

Total potensi Prospek Leles sebesar 3,3 MW<sub>t</sub> terdiri dari cadangan terbukti 2.592 kW<sub>t</sub> dan sumber daya terukur sebesar 704 kW<sub>t</sub>.

Pada Prospek Leles direkomendasikan untuk menambah instalasi utilisasi baik secara paralel maupun *cascading*, khususnya di lokasi sekitar MAP SS-1 karena mempunyai suhu tinggi dan debit yang besar. Secara paralel bisa dibuat kolam untuk berenang, berendam dan *whirlpool*. Sehingga selain untuk rekreasi, bisa arahkan sebagai sarana hidroterapi.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapan terima kasih kepada Kepala Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi (PSDMBP) c.q. Ketua Tim Kerja Panas Bumi atas izin penggunaan data untuk penulisan studi ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim editor yang telah memberikan koreksi serta saran dalam perbaikan tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

Laporan Survei Rinci Geologi, Geokimia, Gaya Berat dan Audiomagnetotellurik Daerah Panas Bumi Tanggeung-Cibungur Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat. Bandung: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi.

# MAKALAH ILMIAH

- Badan Geologi, 2024. Petunjuk Teknis Tata Cara Perhitungan Potensi dan Utilisasi Energi Panas Bumi untuk Pemanfaatan Langsung. Bandung: Badan Geologi.
- Beall, S. & Samuels, G., 1971. Use of Warm Water for Heating and Cooling Plant and Animal Enclosures. Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States).
- Direktorat Panas Bumi, 2023. Pengembangan Panas Bumi di Indonesia. Jakarta: Direktorat Panas Bumi.
- JICA, 2016. Investigations on Geothermal Direct Use in Indonesia and Proposal of Projects for Policy Making. Japan International Cooperation Agency (JICA).
- Lund, J. W. & Toth, A. N., 2021. Direct Utilization of Geothermal Energy 2020 Worldwide Review. *Geothermics*, 90, 101915.
- Nugraha, H. S., Shoedarto, R. M., Sediyono, B., Aries, F. R., Irawan, D. & Perdana, F., 2015. An Update on Thermal Activities as Geothermal Direct Utilization in the Western Part of Java. *International Indonesia Geothermal Congress and Exhibition 2015*. Jakarta.
- Pemanas Air Indonesia., 2019. *Tips Mendapatkan Alat Pemanas Air Kolam Renang yang Ideal* [Online]. Pemanas Air Indonesia. Available: <https://pemanasairindonesia.com/tips-mendapatkan-alat-pemanas-air-kolam-renang-yang-ideal/> [Accessed 15 Juni 2024 2024].
- PSDMBP, 2021a. Laporan Evaluasi Daerah Panas Bumi untuk Pemanfaatan Langsung di Wilayah Pulau Jawa Bagian Barat. Bandung.
- PSDMBP, 2021b. Laporan Evaluasi Daerah Panas Bumi untuk Pemanfaatan Langsung di Wilayah Pulau Jawa Bagian Timur. Bandung.
- PSDMBP, 2022. Laporan Evaluasi Daerah Panas Bumi untuk Pemanfaatan Langsung di Wilayah Pulau Kalimantan Bagian Timur. Bandung.
- PSDMBP, 2023. Laporan Evaluasi Daerah Panas Bumi untuk Pemanfaatan Langsung di Wilayah Pulau Sumatera Bagian Utara. Bandung.
- Sezar, H. A., 2017. Pre-feasibility Study of Geothermal Direct Use Recreational Centre: a Case Study of Songwe Prospect in Tanzania. *Geothermal Training Programme*, 28, 561-591.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Dewan Redaksi mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada para editor dan mitra bestari atas kerjasamanya dalam proses review lima makalah untuk edisi ketiga Buletin Sumber Daya Geologi tahun 2024. Secara khusus, kami mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bestari yang berkontribusi sesuai keahliannya, antara lain Prof. Mega Fatimah Rosana, M.Sc, Ph.D, Prof. Euis Tintin Yuningsih, M.Sc, Ph.D, Prof. Binarko Santoso, M.Sc, Dr.Eng, Ir. Agus Didit Haryanto, M.T, Dr. Ir. Rukmana Nugraha Adhi, DEA, Ir. Sabtanto Joko Suprapto, M.T, Ir. Bambang Pardiarto, Ir. Teuku Ishlah, Ir. Dwi Nugroho Sunuhadi dan Dr.rer.nat. Ernowo, ST, MT.

Kami mengucapkan terima kasih kepada para penulis yang telah mengirimkan makalah ilmiahnya kepada sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi. Selain itu, ucapan terimakasih diucapkan kepada para kontributor foto yang telah berpartisipasi untuk mengisi Galeri Foto.

Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada semua unsur Dewan Redaksi dalam proses penyusunan dan penerbitan Buletin Sumber Daya Geologi Volume 19 Nomor 3, Tahun 2024. Semoga hadirnya Buletin Sumber Daya Geologi kepada masyarakat dan pihak-pihak yang berkepentingan dalam bentuk cetakan maupun digital secara *online* dapat memberikan informasi yang bermanfaat dan akurat tentang potensi sumber daya mineral dan energi di Indonesia.

Salam sehat dan tetap semangat.



**BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI**

Volume 19 Nomor 3 Tahun 2024

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

**INDEKS PENULIS**

Andy Setyo Wibowo  
Pusat Survei Geologi Bandung, Indonesia  
Email: asw8513@gmail.com

Ariel Dwiyanto N.  
Politeknik Energi dan Pertambangan  
Bandung, Indonesia  
Email: arielnugroho125@gmail.com

Asep M I Shiddiq  
Politeknik Energi dan Pertambangan  
Bandung, Indonesia  
Email: asep.shiddiq@esdm.go.id

Dadan Wildan  
Politeknik Energi dan Pertambangan  
Bandung, Indonesia  
Email: dadan.wildan@esdm.go.id

Dede Iim  
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan  
Panas Bumi, Indonesia  
Email: dede.iim@esdm.go.id

Feby Airlangga  
Institut Teknologi Sumatera, Lampung  
Selatan, Indonesia  
Email: febyairlangga@gmail.com

Handoyo Handoyo  
Institut Teknologi Sumatera, Lampung  
Selatan, Indonesia  
Email: handoyo.geoph@tg.itera.ac.id

Harnani  
Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan,  
Indonesia  
Email: harnanistmt@gmail.com

Husin Setia Nugraha  
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan  
Panas Bumi, Indonesia  
Email: husin.nugraha@esdm.go.id

Lia Novalia  
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan  
Panas Bumi, Indonesia  
Email: lianovaagung@gmail.com

Mochammad Malik Ibrahim  
Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia  
Email: malikibrahim100@ft.unsri.ac.id

Muhammad Syafrudin Anshar  
PT Generasi Muda Bersatu, Indonesia  
Email: muhammadasyafrudinanshar@gmail.com

Nadya Finlandini  
Politeknik Energi dan Pertambangan  
Bandung, Indonesia  
Email: nadyafinlandini@gmail.com

Rayhan Khairunnan Abiyyu  
Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan,  
Indonesia  
Email: 0307138202506@student.unsri.ac.id

Rina Wahyuningsih  
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan  
Panas Bumi, Indonesia  
Email: rinagea85@gmail.com

Sabtanto Joko Suprapto  
Politeknik Energi dan Pertambangan  
Bandung, Indonesia  
Email: sabtanto\_js@yahoo.com

Sahidin  
PT Sumbawa Barat Mineral, Indonesia  
Email: sahidin@sbmineral.com

Selvi Misnia Irawati  
Institut Teknologi Sumatera, Lampung  
Selatan, Indonesia  
Email: selvi.irawati@tg.itera.ac.id

Stevanus Nalendra Jati  
Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan,  
Indonesia  
Email: s.nalendra@unsri.ac.id

Tatik Handayani  
Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan  
Panas Bumi, Indonesia  
Email: hanitatik@gmail.com



**BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI**

Volume 19 Nomor 3 Tahun 2024

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

---

**INDEKS KATA KUNCI**

- Alterasi 147-149, 151-159, 163, 187-193, 195-197, 199-207  
Analisis Isotop 161, 165, 167-169  
BI 173, 174, 176, 178-182  
Cianjur 209-211, 221  
Epithermal 147, 159, 187, 188, 205, 207  
Geotermometer Isotop 161, 163, 164, 166, 168, 169  
High sulfidation 187, 188, 205, 206  
Inversi 173, 174, 176, 177, 180, 185  
Leles 209-211, 215, 217-221  
Manifestasi Panas Bumi 161, 163-165, 167, 169, 171  
Mineragrafi 147, 149, 151, 153, 155, 157, 187, 189, 201, 206  
Mineralisasi 147-149, 151-153, 155, 157-159, 187-189, 191, 193, 195, 197, 199, 201, 203, 205-207, 217  
Panas Bumi 147, 151, 158, 161-171, 173, 187, 206, 209-213, 215, 217-222  
Panas Bumi Danau Ranau 161, 163, 164, 170, 171  
Pemanfaatan langsung 209-211, 213-215, 217-222  
Penghitungan potensi 209  
Petrografi 213, 215, 217, 219, 221-223, 225, 253, 255, 256, 268  
Porositas 173, 174, 176-178, 181, 182  
TOC 173, 174, 176, 178-185  
Serpik 149, 173, 174, 176, 180, 182  
Skarn 147-154, 157-159  
XRD 147-149, 151, 153-157, 159, 187-190, 199, 200, 202, 207



**BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI**

Terbit : November 2024

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

**Nadya Finlandini<sup>1</sup>, S. J. Suprapto<sup>1</sup>, A. M. I. Shiddiq<sup>1</sup>, Lia Novalia<sup>2</sup>, M. S. Anshar<sup>3</sup>****(<sup>1</sup>Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia; <sup>2</sup>Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia; <sup>3</sup>PT Generasi Muda Bersatu, Indonesia)****ANALISIS ALTERASI DAN MINERALISASI MENGGUNAKAN METODE XRD, PETROGRAFI DAN MINERAGRAFI DAERAH PROSPEK CIHAUR, SIMPENAN, KABUPATEN SUKABUMI****Buletin Sumber Daya Geologi****BSDG November 2024 Vol. 19 No. 3 Hal. 147-159****DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.495>**

Daerah penelitian terletak di Cihaur, Sukabumi, Jawa Barat, ditempati oleh Formasi Jampang, berada pada Busur Sunda-Banda. Aktivitas magmatik dan tataan tektonik yang kompleks di Busur tersebut potensial menyebabkan terjadinya mineralisasi, menghasilkan beberapa tipe cebakan bijih seperti porfiri, epitermal, dan skarn. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi alterasi, mineralisasi, dan tipe cebakan bijih pada daerah penelitian. Metodologi penelitian meliputi pengeboran eksplorasi, pemetaan alterasi, dan analisis laboratorium menggunakan metode XRD, petrografi, dan minerografi. Alterasi yang berkembang di daerah penelitian terdiri dari alterasi argilik (illit, kaolin, dan smektit), alterasi propilit (klorit, epidot, dan kalsit), marbellized (95% kalsit), dan skarnisasi (klinopiroksen, wollastonit, klorit-skarn, dan epidot-skarn). Pada skarn terdapat indikasi tahap prograde yang ditandai oleh mineral piroksen dan wollastonit, serta tahap retrograde ditandai oleh mineral epidot, kalsit, dan klorit. Mineralisasi daerah penelitian terdiri dari galena, sfalerit, pirhotit, pirit, dan kalkopirit. Kehadiran mineral piroksen dan wollastonit, serta galena dan sfalerit menunjukkan bahwa skarn terbentuk pada zona menengah hingga distal.

**Kata kunci:** Skarn, Alterasi, Mineralisasi, XRD, Petrografi, Minerografi**Mochammad Malik Ibrahim, Harnani, Stevanus Nalendra Jati, dan Rayhan Khairunnan Abiyyu  
(Prodi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya, Sumatera Selatan, Indonesia)****ASAL USUL FLUIDA MANIFESTASI PANAS BUMI DAN ESTIMASI TEMPERATUR RESERVOIR DENGAN PENDEKATAN ANALISIS ISOTOP PADA DAERAH DANAU RANAU, OGAN KOMERING ULU (OKU) SELATAN, SUMATERA SELATAN****Buletin Sumber Daya Geologi****BSDG November 2024 Vol. 19 No. 3 Hal. 161-171****DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.467>**

Potensi panas bumi Daerah Danau Ranau berasal dari sisa-sisa aktivitas magmatik dari Gunung Seminung. Manifestasi panas bumi di daerah ini berupa mata air panas yang diperkirakan muncul melalui struktur geologi. Keberadaan fluida manifestasi panas bumi sangat menarik untuk diteliti, khususnya terkait asal usul dan perkiraan

temperatur reservoir dengan pendekatan komposisi isotop  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$ . Asal usul fluida manifestasi penting diketahui untuk menentukan potensi sistem panas bumi dari fluida manifestasi permukaan terkait interaksi magmatik, evaporasi atau batuan. Metode penelitian ini menggunakan analisis isotop untuk menentukan asal usul fluida manifestasi panas bumi dan geotermometer isotop untuk memperkirakan temperatur reservoir. Pengambilan sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi di Desa Kota Batu sebanyak 3 sampel dan di Desa Lombok sebanyak 3 sampel. Hasil analisis isotop pada grafik hubungan antara  $\delta^{18}\text{O}$  dan  $\delta^2\text{H}$  menunjukkan bahwa semua sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi berasal dari air meteorik. Persamaan nilai garis air meteorik lokal terdapat perbedaan pada nilai *deuterium excess* (DE) dibandingkan dengan persamaan nilai garis air meteorik global. Perubahan nilai DE ini diakibatkan adanya proses interaksi dan pencampuran (*mixing*) antara fluida panas bumi dan batuan (*connate water*) dengan sumber evaporasi dan presipitasi dari Danau Ranau. Hasil perhitungan geotermometer isotop berdasarkan faktor fraksinasi isotop, diperkirakan temperatur reservoir berkisar  $\pm 270^\circ\text{C}$ . Perkiraan temperatur reservoir menunjukkan bahwa semua sampel isotop pada fluida manifestasi panas bumi tergolong dalam temperatur tinggi.

**Kata kunci:** Potensi Panas Bumi Danau Ranau, Manifestasi Panas Bumi, Analisis Isotop, Asal Usul Fluida Panas Bumi, Geotermometer Isotop**Feby Airlangga<sup>1</sup>, Handoyo Handoyo<sup>1</sup>, Selvi Misnia Irawati<sup>1</sup>, dan Andy Setyo Wibowo<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>Teknik Geofisika Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia; <sup>2</sup>Pusat Survei Geologi Bandung, Jawa Barat, Indonesia)****KARAKTERISASI BATUAN INDUK HIDROKARBON DAN RESERVOAR NONKONVENSIONAL DI CEKUNGAN JAWA TIMUR BAGIAN UTARA****Buletin Sumber Daya Geologi****BSDG November 2024 Vol. 19 No. 3 Hal. 173-185****DOI: <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.435>**

Cekungan Jawa Timur bagian utara merupakan salah satu cekungan penghasil hidrokarbon di Indonesia dengan lapisan batuan induk yang tebal dan menarik untuk dipelajari sebagai potensi reservoir nonkonvensional di masa mendatang. Integrasi analisis data sumur dan inversi seismik digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik batuan induk dalam penelitian ini. Analisis data sumur dapat memberikan informasi litologi pada formasi pembawa batuan induk hidrokarbon, yaitu serpih Formasi Prupuh, serpih Formasi Kranji, dan batugamping Formasi Ngimbang. Data log juga dapat memberikan informasi prediksi nilai *Brittleness Index* (BI) dan *Total Organic Carbon* (TOC) di zona target. Regresi linier digunakan untuk menyebarluaskan BI, porositas, dan TOC pada data seismik. Untuk membantu proses penyebarluasan nilai TOC dan BI pada parameter seismik, inversi *Acoustic Impedance* (AI) dilakukan dengan menggunakan metode *model based hard constraint* untuk memprediksi distribusi AI. Hasil studi ini menunjukkan bahwa zona target merupakan zona potensial dengan kategori menengah hingga potensial dari distribusi

## ABSTRACT

## BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI

Terbit : November 2024

ISSN 1907-5367, eISSN 2580-1023

TOC 1,5%-2,2%, BI 0,2-0,46, dan porositas 0,03-0,15. Data inversi seismik juga membantu penyebaran parameter petrofisika pada kondisi lateral yang baik mengikuti persebaran horizon batuan induk serpih.

**Kata kunci:** TOC, BI, porositas, serpih, inversi

Ariel Dwiyanto N<sup>1</sup>, A. M. I. Shiddiq<sup>1</sup>, S. J. Suprapto<sup>1</sup>, Tatik Handayani<sup>2</sup>, Sahidin<sup>3</sup>  
(<sup>1</sup>Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia; <sup>2</sup>Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Indonesia; <sup>3</sup>PT Sumbawa Barat Mineral, Indonesia)

**ALTERASI DAN MINERALISASI PADA DAERAH SUB-PROJECT S, BLOK A, PT SUMBAWA BARAT MINERAL, KABUPATEN SUMBAWA BARAT, PROVINSI NUSA TENGGARA BARAT**

Buletin Sumber Daya Geologi

**BSDG November 2024 Vol. 19 No. 3 Hal. 187-207**

**DOI:** <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.474>

Daerah penelitian berada pada Izin Usaha Pertambangan (IUP) milik PT Sumbawa Barat Mineral yang berlokasi di Taliwang, Sumbawa Barat, Nusa Tenggara Barat, terletak pada jalur magmatik Busur Sunda-Banda yang menunjukkan adanya potensi mineralisasi logam hasil dari aktivitas hidrotermal pada daerah penelitian, potensi mineralisasi yang tersebar pada daerah penelitian berupa tipe epitermal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui alterasi, mineralisasi dan tipe deposit yang berkembang pada daerah penelitian. Metode yang digunakan pada penelitian ini berupa pemetaan geologi dengan metode *grid mapping* dan mengambil sampel secara *grab*, analisis XRF untuk mengetahui kandungan unsur, analisis petrografi untuk mengetahui tekstur dan struktur batuan serta mineral, analisis minerografi untuk mengetahui jenis mineral logam, dan analisis XRD untuk mengidentifikasi mineral alterasi lebih rinci. Hasil dari penelitian ini menunjukkan adanya alterasi propilitik, argilik, *advanced argilik*, dan silisifikasi. Dengan mineralisasi perak, tembaga, timbal, seng, arsen, dan mangan dengan kehadiran mineral kovelit, dan *dickite*, maka tipe mineralisasi daerah penelitian adalah tipe *epithermal high sulfidation* kedalaman intermediet.

**Kata kunci:** alterasi, mineralisasi, *epithermal*, *high sulfidation*

Husin Setia Nugraha<sup>1</sup>, Rina Wahyuningsih<sup>1</sup>, Dede Ilim<sup>1</sup>, dan Dadan Wildan<sup>2</sup>

(<sup>1</sup>Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi, Indonesia; <sup>2</sup>Politeknik Energi dan Pertambangan Bandung, Indonesia)

**PRAKIRAAN POTENSI DAN UTILISASI ENERGI PANAS BUMI UNTUK PEMANFAATAN LANGSUNG DI PROSPEK LELES, CIANJUR, JAWA BARAT**

Buletin Sumber Daya Geologi

**BSDG November 2024 Vol. 19 No. 3 Hal. 209-222**

**DOI:** <https://doi.org/10.47599/bsdg.v19i3.483>

Kegiatan penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung di Prospek Leles, Kabupaten Cianjur. Kegiatan ini sekaligus menerapkan petunjuk teknis tata cara perhitungan potensi dan utilisasi energi panas bumi untuk pemanfaatan langsung yang diterbitkan oleh Badan Geologi. Prospek Leles memiliki delapan sumber panas untuk pemanfaatan langsung energi panas bumi yang terdiri dari lima manifestasi mata air panas, satu sumur bor air panas dan dua kolam pemandian air panas. Dengan dua kolam dikategorikan sebagai utilisasi dengan kapasitas terpasang dari satu mata air panas dengan cadangan terbukti. Sedangkan sisanya lima mata air panas masih dikategorikan sumber daya terukur. Total kapasitas terpasang dua kolam air panas adalah sebesar 38,85 kW<sub>t</sub> dengan utilisasi tahunan sebesar 1,23 TJoule per tahun atau ~0,34 GW<sub>h</sub> per tahun dengan perkiraan faktor kapasitas sebesar 33,3%. Dengan kapasitas tersebut rasio kapasitas terpasang terhadap cadangan terbukti masih sangat kecil hanya sebesar 1,41%. Sedangkan total potensi Prospek Leles adalah 3,3 MW, dengan rincian cadangan terbukti sebesar 2.592 kW<sub>t</sub> dan sumber daya terukur sebesar 704 kW<sub>t</sub>. Rekomendasi untuk pemanfaatan langsung adalah untuk menambah instalasi utilisasi baik secara paralel bisa dibuat kolam dengan peruntukan yaitu untuk berenang, berendam dan *whirlpool* dan secara *cascading* dengan akuakultur seperti untuk udang atau lele.

**Kata kunci:** panas bumi, penghitungan potensi, pemanfaatan langsung, Leles, Cianjur



Singkapan batubara di Nagari Koto Lamo, Kecamatan KapurIX,  
Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau (Sigit A Wibisono, 2024)



Singkapan batubara di Nagari Muaro Paiti, Kecamatan KapurIX,  
Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau (Sigit A Wibisono, 2024)

## GALERI FOTO



Singkapan batubara di Nagari Lubuk Alai, Kecamatan Kapur IX, Kabupaten Indragiri Hulu, Provinsi Riau (Sigit A Wibisono, 2024)



Singkapan ultrabasa di Desa Batu Mandi, Kecamatan Balantak Utara, Kabupaten Banggai, Provinsi Sulawesi Tengah (Irwan Muksin, 2024)



Singkapan pasir kuarsa di Kecamatan Soko, Kabupaten Tuban, Provinsi Jawa Timur  
(Irwan Muksin, 2024)



Bridging ke Titik Ukur di Kawah Mati Tegal Alun, Gunung Papandayan,  
Kabupaten Garut (Ahmad Zarkasyih, 2018)

## GALERI FOTO



Bridging ke Titik Ukur di Kawah Mati Tegal Alun, Gunung Papandayan,  
Kabupaten Garut (Ahmad Zarkasyih, 2018)



Aktivitas kolam lumpur di Bledug Kuwu (Tatik Handayani, 2024)



Kolam air di daerah Banjar (Tatik Handayani, 2024)



Wisata Garam Desa Jono (Tatik Handayani, 2024)

## GALERI FOTO



Sumur air panas yang digunakan sebagai bahan pembuatan garam di Wisata Garam Desa Jono (Tatik Handayani, 2024)



Morfologi Bledug Medang Kramesan dari kejauhan (Tatik Handayani, 2024)



Kolam lumpur Bledug Medang Kramesan (Tatik Handayani, 2024)



Kolam-kolam pembuatan garam di sekitar Bledug Cangkring (Tatik Handayani, 2024)

## GALERI FOTO



Pengambilan Sampel Lumpur di Bleduk Kuwu, Kabupaten Grobogan  
(Tatik Handayani, 2024)



Pengambilan Sampel Air di Bleduk Kuwu (Tatik Handayani, 2024)



Monitoring Pengukuran Metode Magnetotelurik di Gunung Papandayan, Kab. Garut

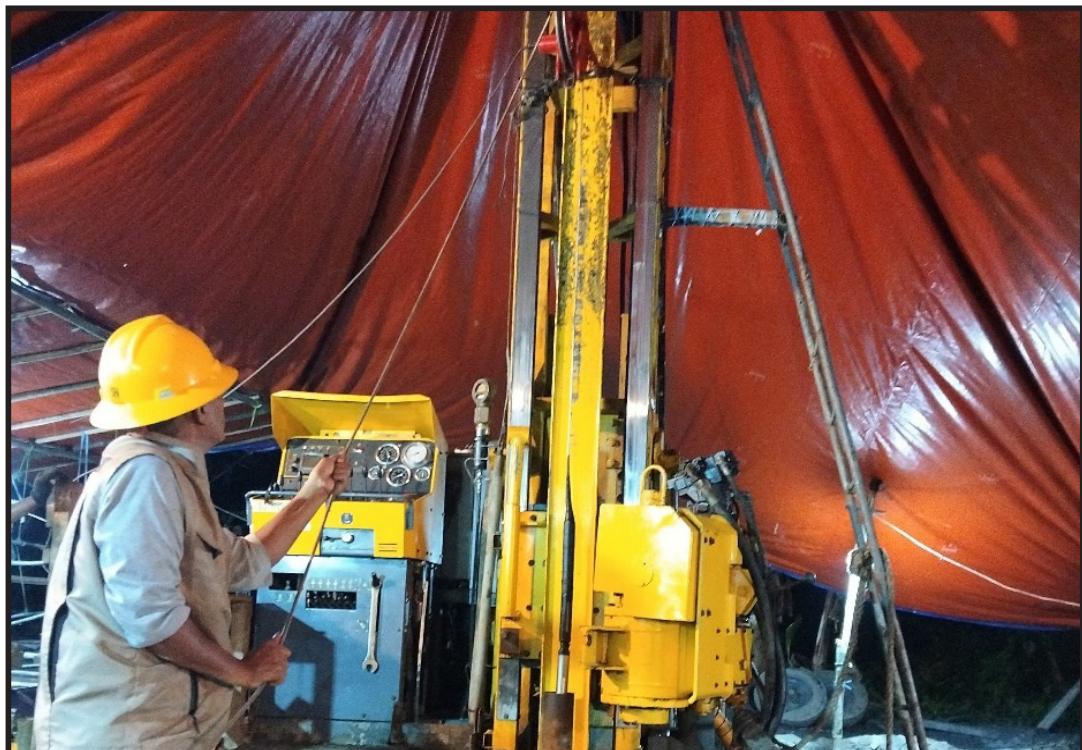


Proses *rig up* di Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku (Joko Pratikno, 2024)

## GALERI FOTO



Persiapan *logging* untuk pengukuran temperatur sumur di kedalaman 160 meter  
Kabupaten Maluku Tengah, Provinsi Maluku (Joko Pratikno, 2024)



Proses setting *Snatch block logging* di Kabupaten Maluku Tengah,  
Provinsi Maluku (Joko Pratikno, 2024)

**PEDOMAN PENULISAN**  
**Makalah/Karya Tulis Ilmiah**  
**BULETIN SUMBER DAYA GEOLOGI**

**ISI DAN KRITERIA UMUM**

Naskah makalah/karya tulis ilmiah untuk publikasi di Buletin Sumber Daya Geologi dapat berupa artikel hasil penelitian, ulas balik (*review*) dan ulasan/tinjauan (*feature*) tentang geologi baik sains maupun terapan terutama berkaitan dengan tugas pokok dan fungsi Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi. Naskah yang diajukan belum pernah dipublikasikan atau tidak sedang diajukan pada publikasi lain.

Naskah ditulis dalam bahasa Indonesia atau Inggris sesuai kaidah masing-masing bahasa yang digunakan. Judul naskah ditulis dengan huruf besar (*capital*) di tengah atas halaman dan di cetak tebal (*bold*). Naskah harus selalu dilengkapi dengan Sari dalam bahasa Indonesia dan *Abstract* dalam bahasa Inggris. Kata-kata bahasa asing yang tidak dapat dialih bahasa/disadur dicantumkan dalam bentuk asli dan ditulis dengan huruf miring (*italic font*).

**FORMAT**

**UMUM**

Seluruh bagian dari naskah termasuk Sari, *Abstract*, judul tabel dan gambar, catatan kaki tabel, keterangan gambar dan daftar acuan diketik satu spasi dalam bentuk *electronic file* dan dicetak pada kertas HVS A4; menggunakan huruf Arial berukuran 11 *point*. Setiap lembar tulisan dalam naskah diberi nomor halaman dengan jumlah maksimum 15 halaman termasuk tabel dan gambar. Susunan naskah dibuat sebagai berikut:

NO	POKOK BAHASAN	POKOK PIKIRAN
I	<b>Judul</b> ( <i>Title</i> )	Pada halaman judul makalah/karya tulis dicantumkan nama setiap penulis dengan jumlah penulis maksimum 5 orang, nama dan alamat institusi bagi masing-masing penulis; disarankan dibuat catatan kaki yang berisi nomor telepon, faximile serta email.
II	<b>Abstrak dan Abstract</b>	Berisi ringkasan pokok bahasan lengkap dari keseluruhan isi naskah seperti latar belakang (yaitu berupa alasan ilmiah ataupun alasan keperluan penting mengapa tulisan ini dipublikasikan), obyek yang diteliti, permasalahan riset, tujuan riset, kegunaan hasil riset, metode yang digunakan dalam mencapai solusi riset tanpa harus memberikan keterangan terlalu rinci dari setiap bab, dengan jumlah maksimum 250 kata. Abstrak dicantumkan terlebih dahulu apabila naskah berbahasa Indonesia, sementara <i>Abstract</i> tercantum di bawah Abstrak; dan berlaku sebaliknya apabila naskah ditulis dalam bahasa Inggris. Disarankan disertai kata kunci/ <i>keyword</i> yang ditulis di bawah Abstrak/ <i>Abstract</i> , terdiri dari 4 hingga 6 kata. <i>Abstract</i> atau abstrak yang ditulis di bawah abstrak atau <i>abstract</i> menggunakan <i>italic font</i> .

# PEDOMAN PENULISAN

III	<b>Pendahuluan</b> <i>(Introduction)</i>	Bab ini dapat berisi latar belakang (alasan ilmiah dan maksud penelitian fenomena aktual bermasalah sebagai tema sentral penelitian), masalah aktual yang perlu solusi, pengantar tentang profil wilayah/lokasi kajian/riset, tujuan penelitian, spesifik, metode riset, hipotesis (kalau ada) dengan gaya bahasa lebih populer dengan bab dan sub-bab tidak perlu menggunakan nomor. Bab berisi pernyataan yang mencukupi sehingga pembaca dapat memahami dan mengevaluasi hasil penyelidikan/penelitian yang berkaitan dengan topik makalah/karya tulis.
IV	<b>Metodologi</b> <i>(Methodology)</i>	Metode yang digunakan harus spesifik dan jelas, mencakup uji-uji hipotesis atau model-model uji statistik, dapat menghimpun data primer/ <i>sampling</i> , cara pengukuran dan komputasi.
V	<b>Hasil dan Pembahasan</b> <i>(Results and Discussion)</i>	Berisi hasil-hasil penyelidikan/penelitian yang disajikan dengan tulisan, tabel, grafik, gambar maupun foto diberi nomor secara berurutan. Hindarkan penggunaan grafik secara berlebihan apabila dapat disajikan dengan tulisan secara singkat. Pencantuman foto atau gambar tidak berlebihan dan hanya mewakili hasil penemuan. Semua tabel, grafik gambar dan foto yang disajikan harus diacu dalam tulisan dengan keterangan yang jelas dan dapat dibaca. <i>Font</i> huruf/angka untuk keterangan tabel, gambar dan foto berukuran minimum <i>6 point</i> .  Berisi tentang analisis/interpretasi dan bahasan singkat mengenai penjabaran hasil verifikasi/validasi yang ditekankan kepada kejelasan penelitian, keterlibatan aneka variabel dan peristiwa atau produk dari penelitian tersebut.
VI	<b>Kesimpulan dan Saran</b> <i>(Conclusions and Recommendation)</i>	Berisi kesimpulan dan saran dari hasil uji hipotesis tentang penelitian, dan berisi segitiga konsistensi (masalah, tujuan dan kesimpulan).
VII	<b>Ucapan Terima Kasih</b> <i>(Acknowledgements)</i>	Dapat digunakan untuk menyebutkan sumber dana penyelidikan/penelitian dan untuk pernyataan penghargaan kepada institusi atau orang yang membantu dalam pelaksanaan penyelidikan/penelitian dan penulisan makalah/karya tulis.
VIII	<b>Acuan</b> ( <i>References</i> )	Acuan ditulis dengan menggunakan sistem nama tahun, nama penulis/pengarang yang tercantum didahului oleh nama akhir ( <i>surname</i> ), disusun menurut abjad dan judul makalah/karya tulis ditulis dengan huruf miring ( <i>italic font</i> )

Beberapa contoh penulisan sumber acuan:

## Jurnal

Harvey, R.D. dan Dillon, J.W., 1985. *Maceral distribution in Illinois cals and their palaeoenvironmental implication*. International Journal of Coal Geology, 5, h.141-165.

## Buku

Petters, W.C., 1987. Exploration and Mining Geology. John Willey & Sons, New York, 685 h.

## Bab dalam Buku

Chen, C.H., 1970. Geology and geothermal power potential of the Tatun volcanic region. Di dalam : Barnes, H.L. (ed.), 1979. Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley and Sons, New York, h.632-683.

## Prosiding

Suwarna, N. dan Suminto, 1999. *Sedimentology and Hydrocarbon Potential of the Permian Mengkarang Formation, Southern Sumatera*. Proceedings Southeast Asian Coal Geology, Bandung.

## Skripsi/Tesis/Disertasi

DAM, M.A.C., 1994. The Late Quaternary evolution of The Bandung Basin, West Java, Indonesia. Ph.D Thesis at Dept. of Quaternary Geology Faculty of Earth Science Vrije Universiteit Amsterdam, h.1-12.

## Informasi dari Internet

Cantrell, C., 2006. Sri Lanka's tsunami drive blossom : Local man's effort keeps on giving. [Http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri\\_lankas\\_tsunami\\_Drive\\_blossoms/](http://www.boston.com/news/local/articles/2006/01/26/sri_lankas_tsunami_Drive_blossoms/) [26 Jan 2006].

## Wewenang Redaksi

- Redaksi berwenang penuh melakukan penyuntingan atas naskah yang akan dipublikasikan tanpa mengubah substansi isi naskah.
- Redaksi mempunyai hak dan wewenang penuh untuk menolak naskah dengan isi dan format yang tidak sesuai dengan pedoman penulisan Buletin Sumber Daya Geologi dan tidak berkewajiban untuk mengembalikan naskah tersebut.

## Pengiriman Naskah

Penulis dimohon untuk mengirimkan 1 eksemplar naskah asli baik *hardcopy* maupun *softcopy* kepada:

Sekretariat Buletin Sumber Daya Geologi  
Bagian Umum, Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi  
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung, 40254  
Telepon. (022) 520 2698, 522 6270  
Fax. (022) 522 6270, 522 6263  
Email: [buletinpsdg@gmail.com](mailto:buletinpsdg@gmail.com)  
OJS: <http://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

Semua tulisan yang ada dalam **Buletin Sumber Daya Geologi** bukan merupakan cerminan sikap dan atau pendapat **Dewan Redaksi Buletin Sumber Daya Geologi**.  
Tanggung jawab terhadap isi atau akibat dari tulisan tetap terletak pada penulis.



# SERTIFIKAT

Kementerian Riset dan Teknologi/  
Badan Riset dan Inovasi Nasional



Petikan dari Keputusan Menteri Riset dan Teknologi/  
Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional  
Nomor 200/M/KPT/2020  
Peringkat Akreditasi Jurnal Ilmiah Periode III Tahun 2020  
Nama Jurnal Ilmiah

## Buletin Sumber Daya Geologi

E-ISSN: 25801023

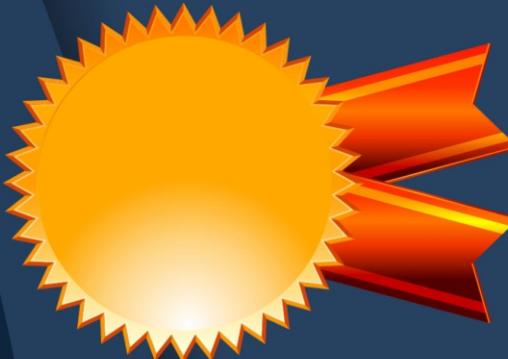
Akreditasi Berlaku selama 5 (lima) Tahun, yaitu  
Volume 15 Nomor 2 Tahun 2020 sampai Volume 20 Nomor 1 Tahun 2025  
Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah

## TERAKREDITASI PERINGKAT 2

Penerbit: Pusat Sumber Daya Mineral Batubara dan Panas Bumi, Badan Geologi, Kementerian Energi dan  
Sumber Daya Mineral  
Ditetapkan sebagai Jurnal Ilmiah



Bambang P. S. Brodjonegoro



**Alamat Redaksi**

Buletin Sumber Daya Geologi

Bagian Umum, Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara dan Panas Bumi  
Jalan Soekarno Hatta No. 444 Bandung 40254

Tel. (022) 522 6270, 520 2698, Fax: (022) 522 6263

Website : <https://geologi.esdm.go.id/psdmbp>

OJS: <https://buletinsdg.geologi.esdm.go.id>

Email: buletinpsdg@gmail.com

ISSN 1907-5367



9 771907 536770

eISSN 2580-1023



9 772580 102009